



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

**Anri Petrov**

**ELEKTERSÕIDUKITE AKUDE TAASKASUTAMINE  
HOONETE ENERGIAVARUSTUSES**

**REUSE OF ELECTRIC VEHICLE BATTERIES IN THE  
ENERGY SUPPLY OF BUILDINGS**

Magistritöö  
Energiakasutuse õppekava

Juhendaja: teadur Alo Allik, *PhD*

Tartu 2018

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Anri Petrov		Õppekava: Energiakasutus	
Pealkiri: Elektersõidukite akude taaskasutamine hoonete energiavarustuses			
Lehekülgi: 64	Jooniseid: 24	Tabeleid: 17	Lisasid: 3
Osakond / Õppetool: Energiakasutuse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika,			
4.17. Energeetikaalased uuringud;			
T140 Energeetika			
Juhendaja: teadur Alo Allik, <i>PhD</i>			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2018			
<p>Elektersõidukite levik on aastate jooksul kasvanud ja esimeste elektriautode akude eluiga hakkab lõppema, mistõttu tuleb leida akudele kasutusaja lõppemisel teine lahendus peale ümbertöötlemise. Akude eluea lõppedes elektriautode energiaallikana ei tähenda veel täielikult ammendunud akut vaid need mahutavad piisavalt energiat, et akusid oleks võimalik kasutada teistel otstarvetel, näiteks hoonete energiasalvestina. Antud töö eesmärk on koguda andmeid kasutatud elektriautode kohta, selgitada välja nende eeldatav eluiga ja akude mahutavuse vähenemine eluea jooksul ning leida viise akude integreerimiseks hoonete energiavarustusse. Töö käigus keskendutakse Nissan Leafi aku uurimisele, mille käigus otsitakse sobivat seadmestikku aku ühendamiseks päikesepaneelide süsteemiga elamule. Elamu elektritarbimine võetakse aluseks PV süsteemi parameetrite valikul arvestades Eesti kliimas paiknevate päikeseelektrijaamade tootlikkust. Akupanga suuruse valimisel lähtutakse Nissan Leafi moodulite arvust ja hoone elektritarbimisest pimedal ajal, kui päikesepaneelide tootlikkus puudub või on liiga madal, et katta hoone elektrienergia vajadust. Koostatud töö tulemusena leiti, et Nissan Leafi aku integreerimiseks hoonetele läheb vaja aku juhtimissüsteemi ehk BMS (<i>battery management system</i>), mis muudab aku elementide kasutamise ohutuks. Antud süsteemi koostamine reaalse projektina eeldab täiendavat uurimist.</p>			
Märksõnad: elektriauto, energiasalvesti, aku mahutavus, päikeseelektrijaam			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Anri Petrov		Curriculum:	Energy      Application Engineering
Title: Reuse of Electric Vehicle Batteries in the Energy Supply of Buildings			
Pages: 64	Figures: 24	Tables: 17	Appendixes: 3
Department / Chair: Chair of Energy Application Engineering Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering 4.17. Energetic Research T140 Energy research Supervisors: researcher Alo Allik, <i>PhD</i> Place and date: Tartu 2018			
<p>Over the years the popularity of electric vehicles has grown in the society and the lives of the first electric car batteries are coming to an end, which is why the second solution to use remaining battery life should be sought out after recycling. At the end of the battery life as the power source for electric cars does not yet fully depreciate the battery itself, it can still accommodate enough energy to enable batteries to be used for other purposes, such as energy storage in buildings. The purpose of this master thesis is to collect data on electric cars in the society, to find out their expected lifetime and regression of the capacity of batteries during their lifetime and also search out new ways to integrate batteries into the housing energy supply. This paper focuses on researching the battery of Nissan Leaf, in the hopes to find a suitable equipment for connecting the battery to a solar panel system of the residential building. The size of the battery pack is based on the number of Nissan Leaf modules and the power consumption in the dark when there is no or too low solar output to cover the daily electricity needs of the building. As a result of this work, it was found that the integration of the Nissan Leaf battery into buildings requires a battery management system - BMS, which helps to make the battery elements safe to use. The correct assemble and design of this system as a real life project requires further investigation.</p>			
Keywords: electric vehicle, energy storage, battery capacity, PV system, BMS			

# SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1. ELEKTRIAUTODE LEVIK.....	8
1.1. Elektriautode mudelid.....	8
1.2. Elektriautode levik maailmas .....	9
1.3. Elektriautode levik Eestis .....	12
2. ELEKTRIAUTODE AKUD .....	14
2.1. Kasutatavate elektersõidukite akude tüübid .....	14
2.2. Liitium-ioon akude ehitus ja tööpõhimõte.....	15
2.3. Liitium-ioon akude eelised ja puudused .....	16
2.4. Akude vastupidavust mõjutavad tegurid .....	17
3. ELEKTRIAUTODE KASUTAMINE JA AKUDE VASTUPIDAVUS .....	19
3.1. Tarbijate elektersõidukite kasutusharjumused .....	19
3.2. Nissan Leafi aku mahutavuse vähenemine.....	23
3.3. Akude mahutavuse vähenemine sõltuvalt keskkonna temperatuurist .....	24
3.4. Elektriautode kasutamine taksodena .....	25
4. PÄIKESEPANEELIDE TOOTLIKKUS JA HOONE ELEKTRIENERGIA TARBIMINE .....	29
4.1. Maapinnale langev päikesekiirgus .....	29
4.2. Päikesepaneelid ja nende tootlikkus Eestis .....	31
4.3. Hoonete elektrienergia tarbimine .....	34
5. ELEKTRIAUTO AKUDE KASUTAMINE HOONETE ENERGIASALVESTINA....	35
5.1. Elektriauto akude potentsiaal energiasalvestina .....	35
5.2. Päikesepaneelide paigaldus hoonele.....	37
5.3. Päikesepaneelide valik projektile .....	39
5.4. Laadimiskontroller .....	40
5.5. Akupank päikeseelektrijaamale.....	43
5.5. Aku juhtimissüsteem .....	47
5.6. Sarnased projektid Eestis.....	50
6. TULEMUSED JA ARUTELU .....	51
KOKKUVÕTE .....	53
KASUTATUD KIRJANDUS .....	55

LISAD .....	58
Lisa 1. Küsitlusleht Elektritakso sõidukite uurimiseks .....	59
Lisa 2. Inverter P3500 tehnilised andmed .....	63
Lisa 3. Lihtlitsents .....	64

## SISSEJUHATUS

Elektersõidukite potentsiaal transpordivahendina on aastate jooksul ainult suurenenud, mille tulemusena arendavad autotootjad üha efektiivsemaid elektriauto mudeleid, mille sõidu ulatus on suurenenud ning muutnud elektriautod tarbijatele atraktiivsemaks. Sõidu ulatust kasvatatakse põhiliselt akude mahutavuse suurendamisega. Akude koostises kasutatud materjalid ja tehnoloogiad on erinevad. Elektersõidukite akudeks on liitiumi baasil akud, mis on parameetrite poolest kõige sobilikumad, mis on kerge kaaluga, kuid suure energiamahutavusega. Elektriauto akude eluiga sõltub erinevatest teguritest, kuid keskmiselt on see umbes 8 aastat, mis on eluea lõppedes elektriauto jaoks end ammendanud, kuid omab piisavalt mahutavust, et kasutada teistel eesmärkidel enne ümbertöötlemist.

Antud lõputöö teema muudab aktuaalseks asjaolu, et esimeste elektriautode akud on jõudnud punkti, kus tuleb mõelda akude asendamist uutega, mille tulemusena tekib võimalus elektriauto akusid kasutada teistes süsteemides, näiteks hoonete energiasalvestina, mis pikendaks akude kasutusaega enne kui saata täielikult ammendunud aku ümbertöötlemisse. Vanade elektriauto akude kasutamine hoonete energiasalvestina on uudne tarbijatele ja tundubalt säästlikum lahendus tarbijale, kui paigaldada PV paneelide süsteemi või uued akud.

Töö eesmärgiks on koguda andmeid elektriautode ja nende kasutamise kohta maailmas ning Eestis, millest võib eeldada antud teema potentsiaali ja aastate hinnata aastate jooksul tekkivate vanade akude kogust. Vaadeldakse elektersõidukite kasutajate harjumusi sõidukite kasutamisel ja uuritakse akude mahutavuse vähenemist aastate jooksul, millest võib järeldada esimeste elektriautode akude eeldatava eluea. Töös kasutatakse maailmas erinevate projektide käigus kogutud andmeid ja lisaks uuritakse Elektritakso elektriautode akude mahutavuse vähenemist sõltuvalt autode läbi sõidule.

Päikeseenergia kasutamine maailmas on muutunud tänu efektiivsematele ja odavamatele paneelidele muutunud üha aktuaalsemaks. Päikeseenergia kasutamine on keskkonnasäästlik ja seda loetakse taastuvenergia liikide hulka. Eesti laiuskraadidel on päikeseelektrijaamade tootlikus hea, mis tõttu tasub päikesepaneele hoone energiatarbimise katmiseks kasutada. Probleem seisneb toodetud energiaenergia ise ära kasutamises, sest PV paneelide tootlikkuse tipud ei lange kokku inimeste elektritarbimise tippudega. Akupank hoonetele aitab tippudel toodetud üleliigset elektrienergiat salvestada ja kasutada seda hiljem, kui päikesepaneelide tootlikkus on madalam hoone elektrienergia tarbimisest. Akupangana on üheks võimaluseks kasutada elektriautode vanasid akusid, milles on piisavalt mahutavust, et talletada märkimisväärne kogus elektrienergiat.

Teiseks töö eesmärgiks on uurida võimalusi Nissan Leafi elektriauto mudeli aku integreerimist päikesepaneelide süsteemi, mis aitaks vähendada võrgust tarbitavat elektrienergiat.

Probleem seisneb aku ühildumist tavapärastes süsteemides kasutavate seadmetega. Elektriautodel on liitiumioonakud, mis on tundlikud ülelaadimiste suhtes, mille tulemusena tõuseb aku elementide pinge üle lubatud piiri ja temperatuur, mis viivad elemendi riknemiseni. Töö käigus selgitatakse välja võimalikkus ja vajalik seadmestik elektriauto aku kasutamisel hoonete energiasalvestina.

# 1. ELEKTRIAUTODE LEVIK

## 1.1. Elektriautode mudelid

Elektriautode mudeli valik on aastate jooksul kasvanud ja täieneb jooksvalt, sest autotootjad näevad antud sektoris suurt potentsiaali. Aastate jooksul on muutunud elektriautod efektiivsemaks ja aku mahutavused kasvanud, mille tulemusena on elektriautode sõiduulatus pikenenud. Elektriauto puhul on kõige olulisemaks teguriks läbitav vahemaa ühe laadimise jooksul, mille pikenemine on muutnud elektriautode kasutamise inimestele mugavamaks. Tabelis 1 on väljatoodud populaarsemad elektriauto mudelid erinevatelt autotootjatelt. Läbi aastate on mudeleid pidevalt täiustatud ja võib leiduda erinevaid variante mudelitest, näiteks aku mahutavuse osas ja võimsustes.

**Tabel 1.** Populaarsemad elektriautode mudelid [1]

Elektriauto mudel	Tehnilised andmed		
	Mootorivõimsus, kW	Aku mahutavus, kW·h	Sõidu ulatus, km
Mitsubishi I-MIEV	49	16	150
Nissan Leaf	80	24	124
	80	30	208
	80	40	272
Tesla Model S	225	60	426
BMW i3	125	22	130-160
Chevrolet Volt	111	16	61
Citroen C-Zero	49	16	150
Volkswagen e-UP	60	18,7	160
Renault Kangoo	44	22	170
Renault Zoe	65	22	210
Volkswagen E-Golf	85	26,5	190



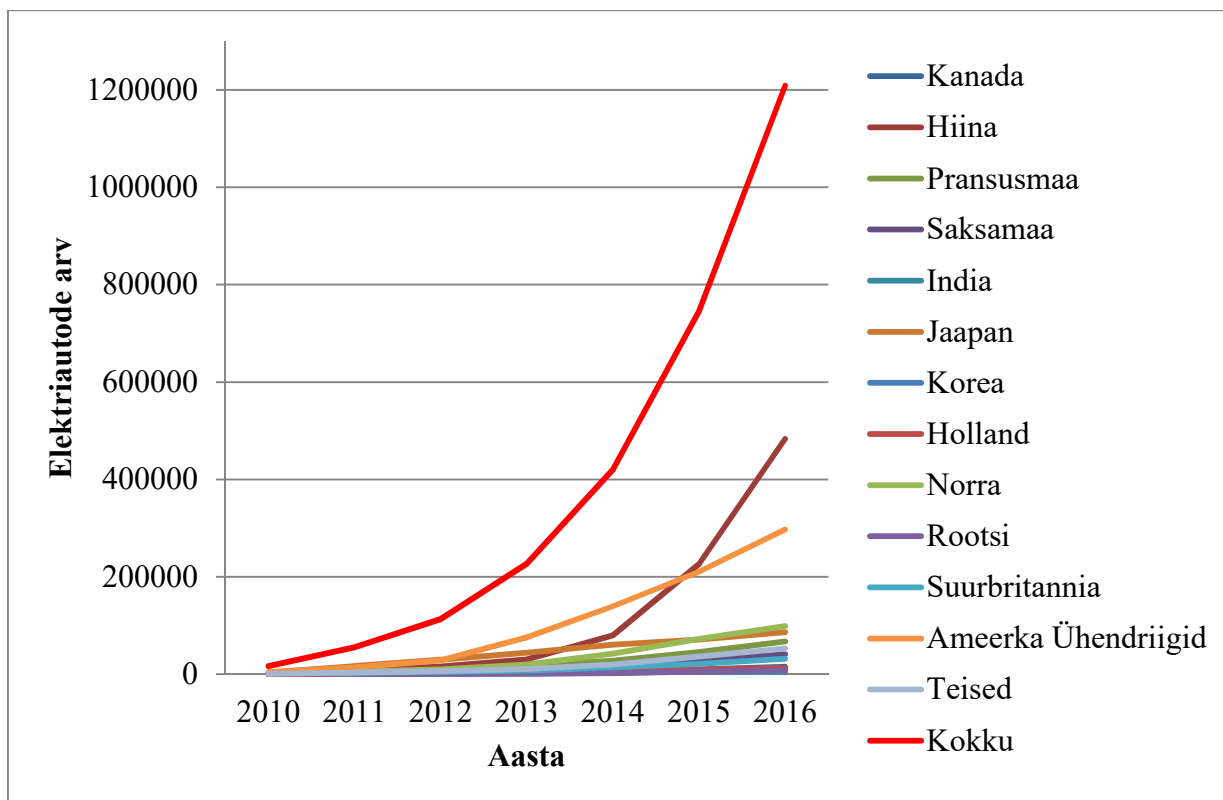
## 1.2. Elektriautode levik maailmas

Esimesed elektriautod tarbijatele olid kättesaadavad aastal 2005, kuid ei omanud suurt tähtsust kuna puudus laadimisjaamade infrastruktuur ja müügi numbrid olid praktiliselt olematud. Aastal 2010 oli märgata elektriautode läbimüügi numbrites suuremat kasvu ja potentsiaali. Aastatel 2010-2016 on elektriautode arv maailmas tõusnud umbes 74 korda. Aastal 2016 oli maailmas kokku registreeritud 1208900 elektriautot.

**Tabel 2.** Elektersõidukite arv aastate jooksul [2]

	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Kanada	-	220	840	2480	5310	9690	14910
Hiina	1570	6320	15960	30570	79480	226190	483190
Prantsusmaa	300	2930	8600	17380	27940	45210	66970
Saksamaa	250	1650	3860	9180	17520	29600	40920
India	880	1330	2760	2950	3350	4350	4800
Jaapan	3520	16130	29600	44350	60460	70930	86390
Korea	60	340	850	1450	2760	5670	10770
Holland	270	1120	1910	4160	6830	9370	13110
Norra	3350	5380	9550	19680	41800	72040	98880
Rootsi	-	180	450	880	2120	5080	8030
Suurbritannia	1650	2870	4570	7250	14060	20950	31460
USA	3770	13520	28170	75860	139280	210330	297060
Teised	800	3170	5830	10600	19430	36200	52410
<b>Kokku</b>	<b>16420</b>	<b>55160</b>	<b>112940</b>	<b>226780</b>	<b>420330</b>	<b>745610</b>	<b>1208900</b>

Elektriautode arvu kasvule aitab kaasa tugevasti laadimisjaamade infrastruktuur, mille arenduste tulemusena on muutunud elektriauto tarbijale meelepärasemaks. Aastal 2014 oli kõige rohkem autosid USA-s, siis aastatel 2015-2016 on elektriautode arv Hiinas kiirelt kasvanud.



**Joonis 1.1.** Müüdnud elektriautode arv aastatel 2010-2016.

Kogu kasutusel olevatest elektersõidukitest moodustab Hiina osakaal umbes 40%, millele järgneb USA 24,5%-ga. Euroopas on suurimaks elektriautode kasutajaks Norra, kus asub üle 8 % maailma elektriautodest. Arvestades erinevaid programme, mille käigus proovitakse edendada elektriautode kasutamist transpordivahendina, siis ilmselt elektriautode numbrid kasvavad kiiresti. Laadimistaristute arendamisel muutub elektersõidukid tarbijatele atraktiivsemaks.

**Tabel 3.** Elektri- ja hübriidautode osakaal võrreldes teiste sõidukitega (%) [2]

	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Kanada	0,15	0,2	0,29	0,39	0,59
Hiina	0,06	0,09	0,38	0,99	1,37
Prantsusmaa	0,34	0,55	0,72	1,22	1,46
Saksamaa	0,11	0,23	0,42	0,72	0,73
India	0,05	0,01	0,02	0,04	0,02
Jaapan	0,53	0,63	0,68	0,58	0,59
Korea	0,04	0,05	0,09	0,21	0,34
Holland	1,02	5,38	3,89	9,74	5,39
Norra	3,27	6	13,71	23,63	28,76
Rootsi	0,31	0,53	1,44	2,37	3,41
Suurbritannia	0,13	0,17	0,6	1,11	1,41
USA	0,44	0,75	0,74	0,67	0,91
Teised	0,06	0,1	0,21	0,38	0,52
<b>Kokku</b>	<b>0,23</b>	<b>0,38</b>	<b>0,54</b>	<b>0,85</b>	<b>1,1</b>

Vaadeldes elektersõidukite osakaalu teiste sõidukitega, siis maailmas on see hetkel ainult 1,1%. Norras liikleb 8% maailma elektriautodest, mille osakaal teistest riigis sõidukitest on 28,76%. Hiinas võib olla küll kõige rohkem elektersõidukeid maailmas, siis osakaal kõigist sõidukitest on ainult 1,37%.

### 1.3. Elektriautode levik Eestis

Eestis hakati elektriautode vastu suuremat huvi tundma 2011 aastal, millal Vabariigi Valitsus sõlmis lepingu Mitsubishi Corporationiga 10 miljoni AAU (*Assigned Amount Unit*) ulatuses saastekvoodi müügiks, et alata Eesti elektromobiilsuse programm. Programm koosnes kolmest osast: Sotsiaalministeeriumi poolt võeti näidiskasutusse 507 Mitsubishi i-MiEV elektriautot, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi poolt töötati välja toetuskeem eraisikutele ja juriidilistele isikutele elektriautode ostu toetamiseks ning rajati kogu riiki kattev elektriautode laadimisjaamade võrgustik. Programmi eesmärgiks oli kiirendada elektriautode kasutuselevõtmist Eestis ja aidata kaasa riigi poolt võetud eesmärgi täitmisele taastuvenergia suurendamisel transpordis aastaks 2020. Antud toetusprogramm toimus ajavahemikus 2011-2014 aastatel. ELMO programmi vahenditest toetati 657 elektriauto ja laetava pistikhübriidi soetamist. [3]

**Tabel 4.** Elektriautode ja laetava pistikhübriidide toetuste statistika [4]

Aasta	Taotlusi	Toetamise otsuseid
2011	17	9
2012	92	75
2013	187	158
2014	499	415
<b>Kokku</b>	<b>795</b>	<b>657</b>

Toetuse eraldamise otsuseid tehti kokku 657, mille raames soetati 18 erinevat auto marki elektriautosid. Populaarsemaks mudeliks kujunes toetuste taotlemisel Nissan Leaf, mille osakaal soetatud elektersõidukitest oli umbes 57%.

**Tabel 5.** Populaarsemad mudelid ELMO programmis [4]

Auto mark	Arv, tk
Nissan Leaf	374
Volkswagen e-Up	43
Mia Electrics	36
Mitsubishi i-MiEV	34
Tesla Model S	33

Maanteeameti info kohaselt on Eestis arvele võetud 31.03.2018 seisuga 1198 elektriautot. Kõige rohkem leidub Eestis Mitsubishi i-MiEV mudeleid 546 autot, millele järgneb Nissan Leaf 448 autoga. Ülejäänud mudelid ei ole osutunud nii populaarseks. [5]

**Tabel 6.** Eestis arvel olevad elektriautod [5]

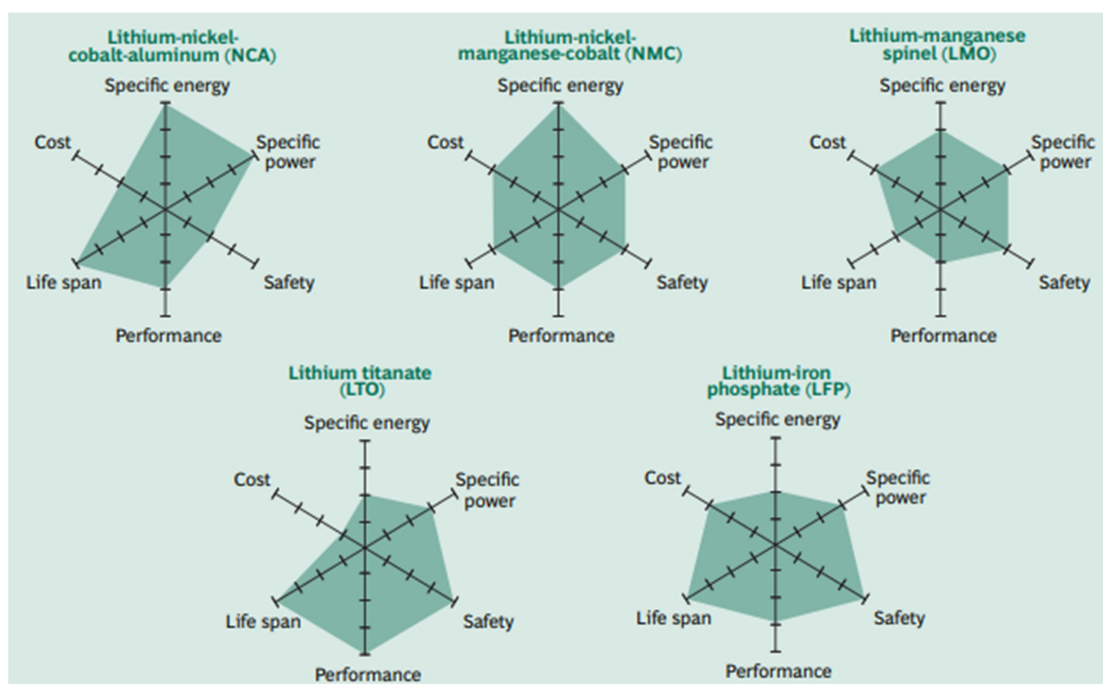
<b>Automark/mudel</b>	<b>Arvel, tk</b>
Mitsubishi i-MiEV	546
Nissan Leaf	448
Nissan E-NV200	21
Tesla Model S	57
Tesla Model X	10
Volkswagen e-UP	40
MIA EV	20
Renault ZOE	17
Micro-Vett Fiorino Elettrico	10
Tazzari Citysport EMI	10
BMW i3	12
Volkswagen Gold EV	6
KIA Soul EV	6
Citroen C Zero	3
Hyundai Ioniq EV	3
Easysmile EZ10	2
Peugeot iON	1
Fiat 500 EV	2
ZEV Smiley	1
Dacia Sandero	1
<b>Kokku</b>	<b>1198</b>

ELMO toetus programmi lõppemisest on võetud arvele 541 uut elektriautot. Liiklusregistrisse on registreeritud 731825 sõiduautot, siis kõikidest sõiduautodest on elektriautode osakaal kõigest 0,16%. [5]

## 2. ELEKTRIAUTODE AKUD

### 2.1. Kasutatavate elektersõidukite akude tüübid

Elektersõidukites kasutatakse liitium-ioonakusid, mis pakub väga erinevaid võimalusi anoodi ja katoodi materjalidele. Vastavalt kasutatud materjalidele liitium-ioon aku koostises annab akudele erinevad omadused. Kõige sobilikumateks koostisteks eltriauto akude tootmisel on liitium-nikkel-koobalt-alumiinium (NCA), liitium-nikkel-mangaan-koobalt (NMC), liitium-mangaan-oksiid (LMO), liitium-titaan-oksiid (LTO) ja liitium-raud-fosfaat (LFP). Kõige rohkem kasutatakse erinevates mobiilsetes seadmetes LCO tüüpi akusid, kuid elektriauto akude jaoks ei ole see koostis kõige turvalisem. [6]

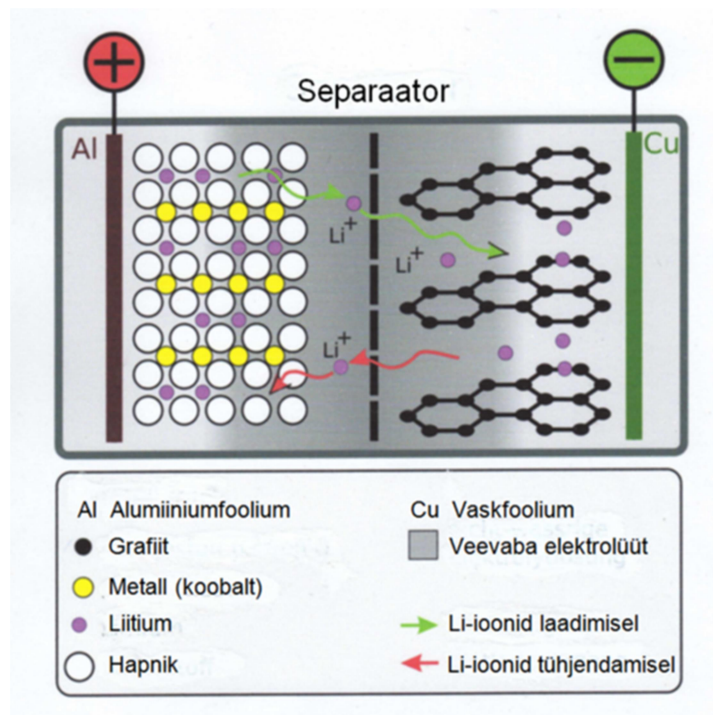


**Joonis 2.1.** Liitium-ioon akude omadused vastavalt koostisele. [6]

Elektriautode akude tootmine algab elementide komponentide tootmisest, milleks on anoodi ja katoodi materjalid, elktorlüüt ja sparaatori tootmine. Vastavalt koosismaterjalidele ühendatakse materjalid elementideks. Elementidest moodustatakse suuremad moodulid. Moodulitest pannakse kokku elektriautole vastava mahutavusega akupank, mis installeeritakse autole. [6]

## 2.2. Liitium-ioon akude ehitus ja tööpõhimõte

Elektriautodes kasutatavate akude juures on olulisteks teguriteks akude kaal ja suurus, sest antud juhul soovitakse saada kõige optimaalsem massienergia ja mahuenergiaga aku. Liitium-ioonakud on muutunud tänapäeval üheks tähtsamaks salvestustehnoloogiaks maailmas, mis on enim levinud akutüübiks portatiivsetes ja mobiilsetes seadmetes.



**Joonis 2.2.** LiCoO<sub>2</sub> elemendi üles ehitus. [7]

Liitium-ioonakude ehitus sarnaneb kondensaatoritele, kus kolm erinevat materjalide kihti on keritud ruumi vähendamiseks rulli. Esimene kiht on tehtud liitiumi ühendist, mis toimib anoodina, teine ehk katoodi kiht on tehtud tavaliselt grafiidist. Mõlema kihi vahel on kolmas, erinevatest ühenditest valmistatud eralduskiht, mis sõltuvalt kasutatud ühenditest määrab ka aku karakteristikud. Kõik kihid on uputatud elektrolüüti, mis laseb ioonidel liikuda anoodi ja katoodi vahel. Laadimise ajal liiguvad liitiumi ioonid läbi mikropoorse eralduskihi ja seovad välisallikast pärit elektronid grafiidis. Tühjenemise ajal liitiumi aatomid vabastavad seotud elektronid ja liiguvad tagasi lahusesse. [8]

**Tabel 7.** Liitium-ioonakude võrdlus [8]

<b>Nimetus</b>	<b>Liitium-nikkel-mangaan-koobaltoksiid</b>	<b>Liitium-raudfosfaat</b>	<b>Liitium-titanaat</b>	<b>Liitium-polümeer</b>
Elektrolüüt	$\text{LiNiMnCoO}_2$	$\text{LiFePO}_4$	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	$\text{LiPF}_6$
Massienergia, $\text{W}\cdot\text{h/kg}$	90...120	85...110	70...90	60...100
Mahuenergia, $\text{W}\cdot\text{h/l}$	180...120	140...180	130...150	130...220
Massivõimsus, $\text{W/kg}$	800...1200	500...700	700...800	1200...1800
Mahuvõimsus $\text{W/l}$	1700...2500	800...1100	1300...1500	2400...3600
Elemendi nimipinge, V	3,7	3,2	2,3	3,7
Elemendi min pinge, V	2,7	2,5	1,8	2,8
Elemendi max pinge, V	4,2	3,6	2,8	4,3

Elektersõidukite akudes kasutatakse enamasti  $\text{LiNiMnCoO}_2$ , kus elementide arv sõltub aku ülesehitusest ja suurusest. Liitium-ioon akude ülesehitusest ja elektrolüütides kasutatavatest materjalidest sõltuvad akude parameetrid. Elektriautode akudes kasutatakse erinevate koostisega akusid, näiteks Nissan Leafi puhul on tegemist  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  või  $\text{LiNiO}_2$  koostisega akud. Sõltuvalt koostisest määrab see akude elementide nimipinged, mis varieeruvad 2,3-3,7 V, miinimumpinged jäävad vahemikku 1,8-2,8 V ja maksimaalsed pinged on 2,8-4,2 V.

### 2.3. Liitium-ioon akude eelised ja puudused

Liitium-ioon akusid kasutatakse tänapäeval seadmetes, mis on mobiilsed ja tänu oma omadustele kerged. Liitium-ioon akusid kasutatakse näiteks mobiiltelefonides, sülearvutites, elektritööriistades jne. Üheks põhjuseks võib lugeda akude kiiret laadimise võimalust ja vastupidavust, mistõttu on saanud sellest üks populaarsemaid salvestustehnoloogiaid.



Põhilisemad eelised liitiumioon-akudel on [9]:

- a) kolm korda kõrgem pinge kui Ni-MH või Ni-Cd akudel, elemendi pinge (3,6V);
- b) suure massienergiatihedusega, umbes 70-200 W·h/kg;
- c) väga suure massivõimsustihedusega, 200-400 W/kg või 2000-4000 W/kg;
- d) lai tühjenemisetsükel, umbes 90-99%;
- e) madal aku isetühjenemine, umbes 5-10% kuus;
- f) kõrge eluiga, umbes 1000-10000 laadimistsüklit, 5-15 aastat.

Põhilisemad puudused liitium-ioonakudel on [9]:

- a) tootmine on kulukam kui NiCd akudel;
- b) suur laadimisvool ja temperatuur vähendavad aku mahutavust;
- c) mahutavuse vähenemine aja jooksul;
- d) mittevastupidav kõrgetele laadimispingete ja -vooludele;
- e) täielikult tühjenenud aku laadimine võib rikkuda aku.

Arvestades, et liitium-ioon akude puudusi, siis antud juhul toimub nende edasi arendamine pidevalt ja akude eluiga on aastate jooksul muutunud pikemaks.

## 2.4. Akude vastupidavust mõjutavad tegurid

Akumulaatorites ehk akudes salvestatakse elektrit mitmesuguste ainete elektrikeemilise muundamise abil, seetõttu on nad kirjeldatavad kui elektrokeemilised salvestid. Aku liiki valides tuleb tihti leida kompromiss üksteisele vastukäivate nõudmiste vahel. Enimlevinud kriteeriumiks on täielike laadimis- ja tühjenemistsüklite arv ja maksumus. [8]

Akude mahutavust väljendatakse laengumahtuvusena ampertundides (A·h), mis saadakse tühjenemisvoolu ja –aja korrutisena, tühjendades akut miinimumklemmipingeni. Nimilaengu mahutavus antakse kindla nimitühjenemisaja juures tähistusega  $C_t$ , kus  $t$  on tühjenemisaeg tundides. [8]

Aku mahutavust mõjutavad 5 põhitegurit [8]:

- a) mõõtmed: koos mahutavusega kasvab ruumala ja elektrootide pindala;
- b) temperatuur: jahtudes aku tühjendamismahutavus väheneb;
- c) miinimumpinge: paljudel akutüüpidel võib koormamine allpool miinimumpinget kaasa tuua aku riknemise;
- d) tühjendamisvool: mida enam akut koormata, seda väiksemaks muutub tema mahutavus;
- e) senine ekspluatatsioon: laadimis-tühjenemisvoolu tugevused, tsüklite sagedus, temperatuurivahemikud, aku vanus jne.

### **3. ELEKTRIAUTODE KASUTAMINE JA AKUDE VASTUPIDAVUS**

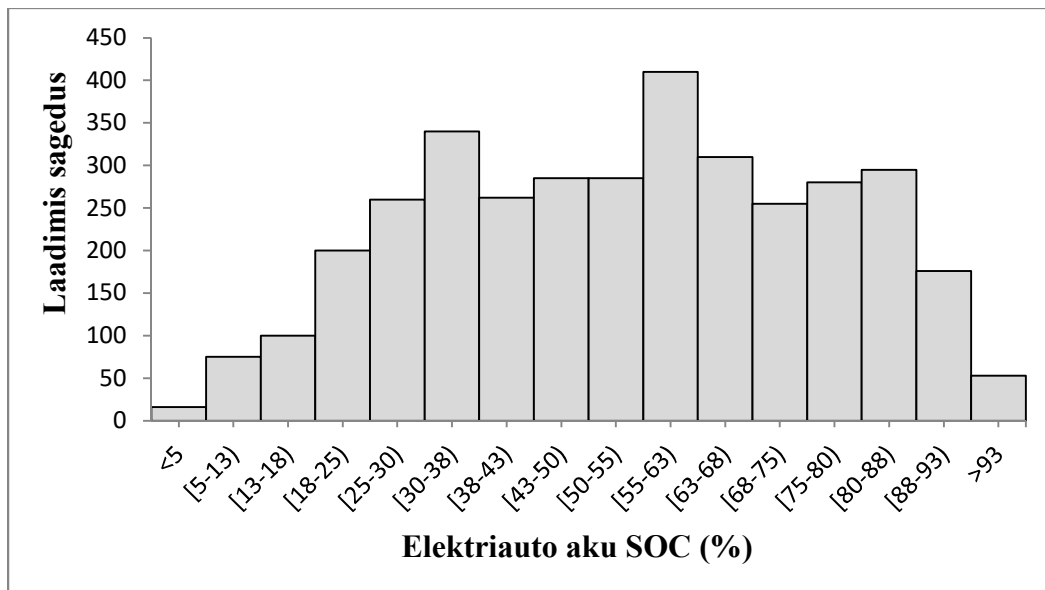
#### **3.1. Tarbijate elektersõidukite kasutusharjumused**

Projekti „*Cabled*“ raames pandi põhirõhk täielikult elektrijõul sõitvatele autodele. Projektis osales üle 340 elektri- ja hübriidsõidukit, mida kasutasid erinevad avaliku sektori töötajad igapäevastel toimetustel. Autod olid varustatud GPS jälgimisseadmega ja omasid info salvestus süsteeme. Projekti viidi läbi Ühend-Kuningriigis West Midlandsis aastatel 2009-2012. [11, 10]

Projekti käigus koguti järgnevaid andmeid [10, 11]:

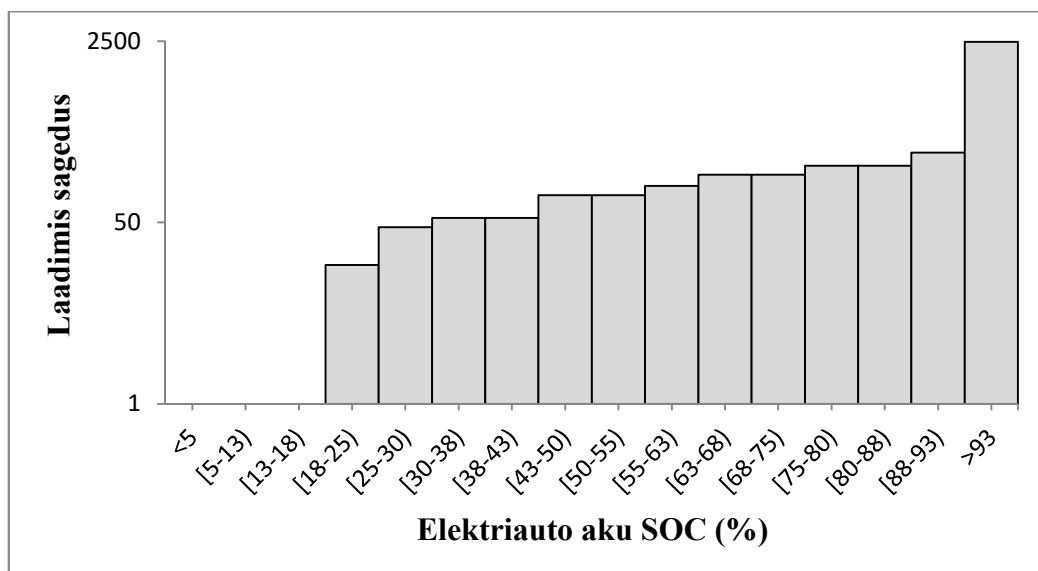
- a) sõitude arv;
- b) teekonna pikkus ja kestvus;
- c) kuupäev ja aeg;
- d) kulutatud energia sõidu jooksul;
- e) laadimiste kestvus ja laadimisel kulunud energia;
- f) välisõhu temperatuur;
- g) laadimisjaama asukoht, nt. kodus, tööl või avalikus laadimisjaamas;
- h) keskmine kiirus teekonnal.

Täielikult elektrijõul sõitvaid autosid oli kokku 100, mille mudelid olid erinevatelt tootjatelt. Projektis vaadeldud autode sõiduulatus jäi vahemikku 105-175 km.



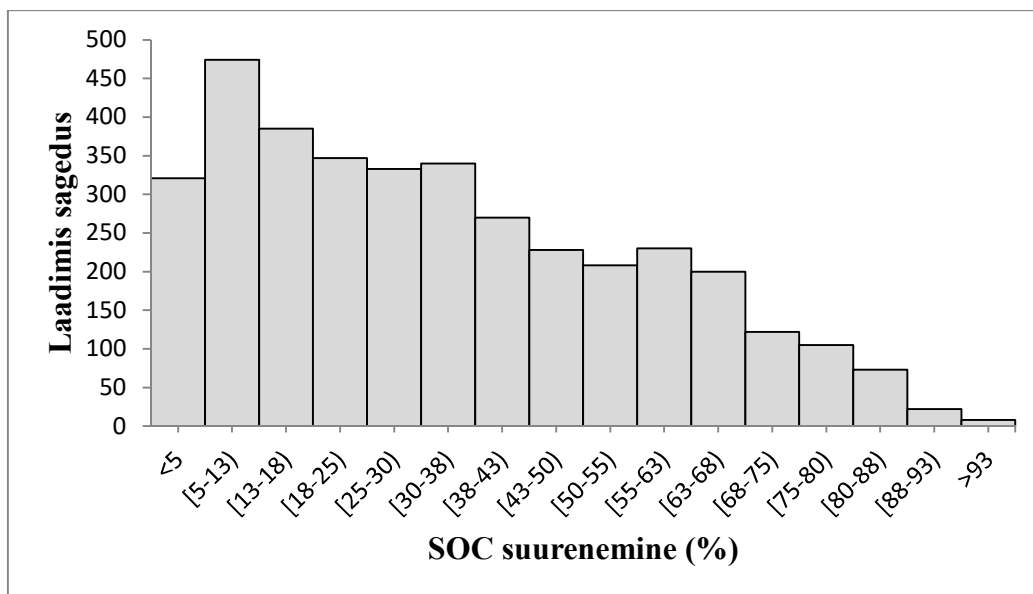
**Joonis 3.1.** Aku SOC (%) enne laadimist. [10]

Kogutud andmetest selgus, elektriauto kasutamisel tühjenes aku peaaegu täiesti tühjaks 16 korral. Keskmiselt oli elektriauto aku tase enne laadimist 55%. Üle 50 korra ühendati elektersõiduk laadima, kui aku mahutavus oli rohkem kui 93% täis laetud. [11]



**Joonis 3.2.** Aku SOC (%) pärast laadimist. [10]

Aku laeti enam kui 93 % täis 2450 korral, 20 korral lõpetati laadimine taseme juures 18-25 %. Kasutaja harjumustest võib järeldada, et auto pannakse laadima siis kui seda nii pea ei kasutata, et akud oleks hiljem täiesti täis laetud. [11]



**Joonis 3.3.** Aku SOC suurenemine pärast laadimist. [10]

Keskmiselt kasvas aku tase pärast laadimist 35 %, kuid võib märgata, et kasutajad laadisid oma elektriauto akut igal vabal momendil, sest 320 korral tõusis aku SOC vähem kui 5 %.

**Tabel 8.** Projektis kogutud andmete keskmised [11, 10]

Laadimiste statistika keskmised	
SOC laadimise alguses (%)	55
SOC kasv laadimisel (%)	35
Laadimise kestvus	02:54:40

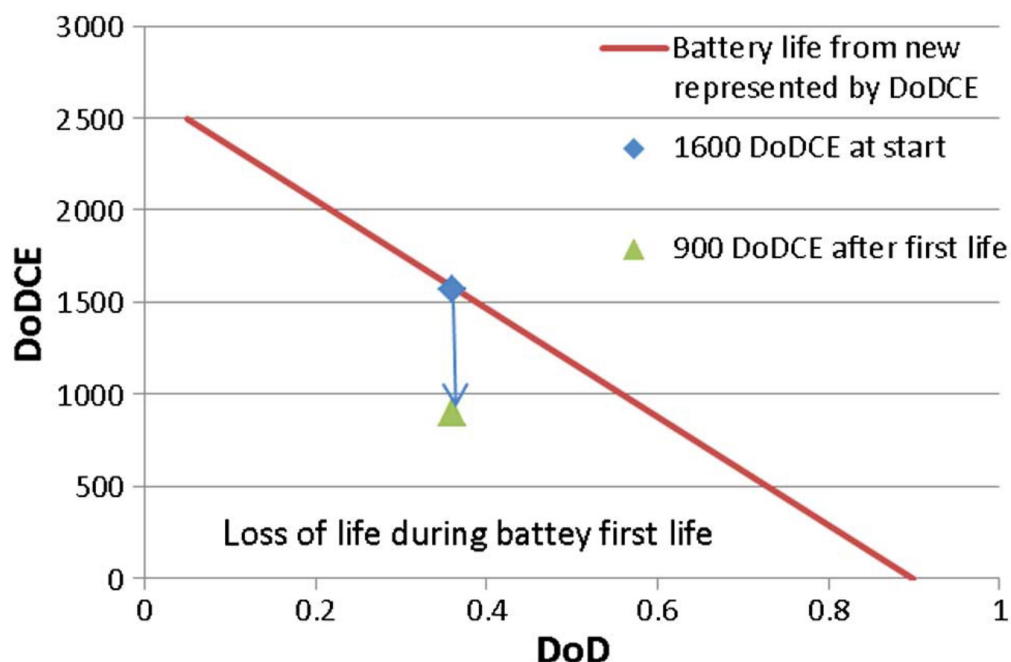
Projekti „Cabled“ raames leiti, et keskmiselt alustati laadimist 55 % aku taseme juures ja SOC kasv jäi keskmiselt 35 % juurde. Akut laeti keskmiselt 0,54 korda päevas, mis teeb aasta kohta umbes 200 päeval. [11]

Arvestades, et DoD 35 % juures on aku eeldatav eluiga 4500 kogu tsükli, mis taandatakse 100% DoD tsükli ekvivalendile (*DoDCE – depth of discharge cycle equivalent*) [10].

$$DoDCE = n_t \times DoD \quad (3.1)$$

kus     DoDCE on     100 % DoD tsükli ekvivalent;  
            $n_t$      –     tsüklite arv;  
           DoD –     tühjaks laadimise ulatus, %.

Valemi 3.1 põhjal saadi tulemuseks ümardades 1600 DoDCE tsüklit eeldavaks aku elueaks. Keskmiselt laeti akut 200 korda aastas, seega 10 aasta jooksul 2000 tsüklit, mis teeb 700 DoDCE tsüklit. [11]



**Joonis 3.4.** Aku eluiga DoD 35 % juures. [10]

Teoreetiliselt on pärast 10 aastat aku kasutamist alles jäänud 900 DoDCE tsüklit enne kui aku täielikult ammendub. Arvestades, et DoD 35 % on elektriauto kasutamisel äärmiselt väike tühjenemise vahemik ja enamasti võib tühjenemise vahemik olla suurem, mille tõttu aku eluiga on tunduvalt väiksem. [11]

### 3.2. Nissan Leafi aku mahutavuse vähenemine

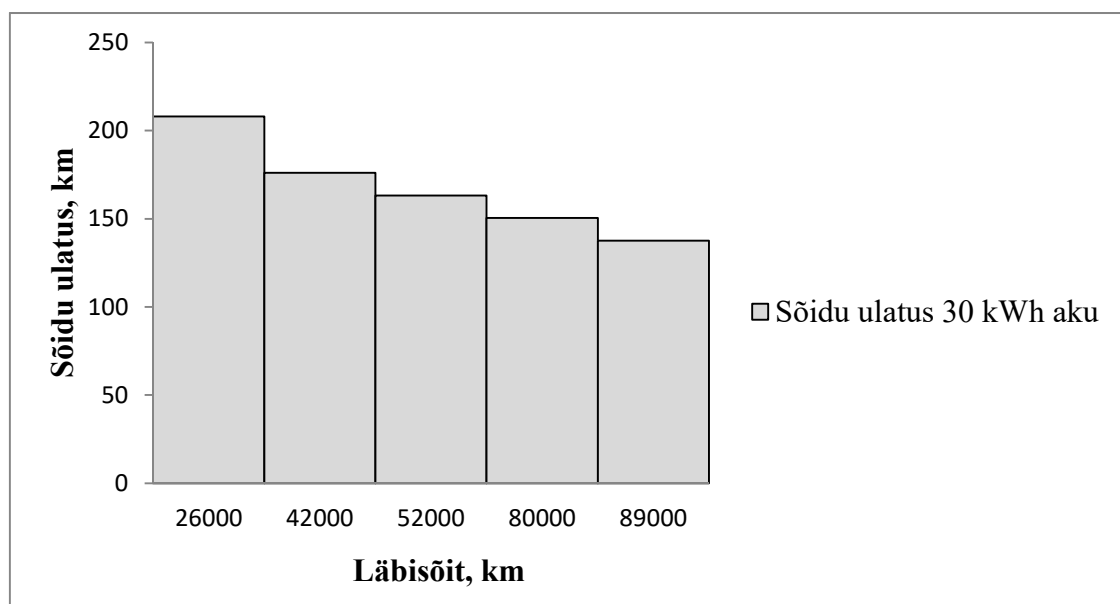
Üheks levinumaks elektriautoks võib nimetada Nissan Leafi, mille kasutajate seas viidi läbi uuring „Plug In America’s“, mille käigus uuriti akude mahutavuse vähenemise sõltuvust läbitud kilomeetritega [12].

Nissan Leaf kuvab kasutajale aku SOC % ja mahutavust, mis jagatud kokku 12 mahutavuse tulpaks. Kõige suurema mahutavusega on 12 tulpa, mille väärtuseks on 15 % ja järgnevatel on 6,25 % [11, 12].

**Tabel 9.** Nissan Leafi aku mahutavuse vähenemine vastavalt läbisõidule [13, 11]

Aku mahutavus	Keskmine läbisõit, km	Sõidu ulatus 24 kW·h aku korral, km	Sõidu ulatus 30 kW·h aku korral, km	Sõidu ulatus 40 kW·h aku korral, km
12	25837	128	208	272
11	41579	109	176	230
10	52283	101	163	213
9	79410	93	150	197
8	89000	85	138	179

Umbes 90 000 läbitud kilomeetri jooksul väheneb auto sõidu ulatus 70 km võrra 30 kW·h aku puhul, mis teeb mahutavuse vähenemiseks 33,7 %.



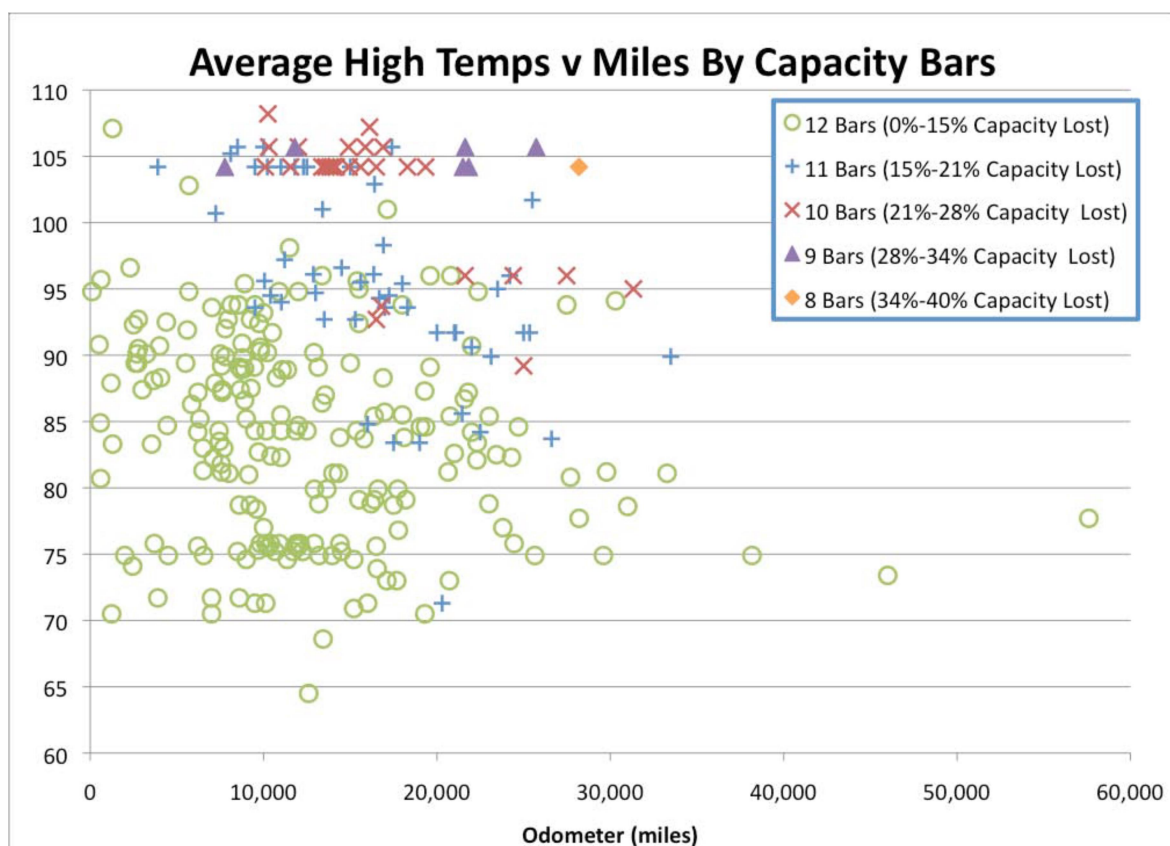
**Joonis 3.5.** Sõidu ulatuse vähenemine sõltuvalt elektriauto läbisõidust. [13]

Eestis kehtib Nissan Leafi akudele garantii kuni 5 aastat või 100 000 km läbimiseni. Aku kuulub välja vahetamisele juhul kui akumahutavus peaks vähenema rohkem kui 4 tulpa eeltoodud tingimustel [14].

### 3.3. Akude mahutavuse vähenemine sõltuvalt keskkonna temperatuurist

Akude mahutavuse vähenemine on probleem, mis on paratamatus, kuid sõltuvalt aku kasutamise ja keskkonnast tingitud eripäradest võib see oluliselt erineda. Uuringu tulemustest selgus, et elektriauto ümbritsevad keskkonna tingimused on aku degradeerumist soodustavad. Soojema kliimaga maades on tõenäolisem, et aku degradeerumine on suurem, kui jahedama kliimaga maades.

Võrreldes andmeid mujalt maailmas ja Eestis kogutud andmetega, siis võime leida, et erinevus on suur.



Joonis 3.9. Aku mahutavuse vähenemine sõltuvalt temperatuurist ja läbisõidust. [11]



Jooniselt 3.9 võime näha, et „Plug In America“ uuringus osalejate aku mahutavus vähenes kiiremini, kus ümbritseva keskkonna keskmine temperatuur oli oluliselt kõrgem. Aku mahutavus vähenes kõige kiiremini, kus temperatuur ulatus keskmiselt 40 °C suvel. Uuringus osalejad hakkasid kaotama kuni 15 % aku mahutavusest enne 16 000 km läbimist. Juba 32 000 km läbimisel oli aku mahutavus vähenenud vahemikus 21-28 %.

Aku mahutavuse vähenemist 34-40 % võis märgata 48 000 km juures, mis on äärmiselt palju võrreldes elektrisõidukiga, mille keskkonna ümbritsev temperatuur oli 25 °C ja aku mahutavus oli vähenenud vähem kui 15 % kuigi läbisõit oli umbes 90 000 km.

Eesti keskmine temperatuur 2017 aastal oli Riigi Ilmateenistuse andmetel 6,5 °C ja suve kõige soojema kuu keskmine temperatuur augustis oli 16,5 °C, mis on võrreldes „Plug In America“ uuringus osalenud elektriautode keskkonna temperatuurist tunduvalt madalamaks. See võib olla üheks põhjuseks, miks Elektritakso OÜ kasutavate Nissan Leafi akude mahutavus on tunduvalt vähem vähenenud võrreldes soojemates kliimades paiknevate elektriautodega.

Andmete kohaselt võib Eestis sõita elektriautoga umbes 200 000 km, mille juures on aku mahutavusest kaotanud vähem kui 15 %: Arvestades kogutuid andmeid võib järeldada, et elektrisõidukid on Eesti kliimas vastupidavad ja aku peab kauem vastu, kui soojema kliimaga riikides. Lisaks kliimale võib elektriauto aku mahutavust vähendada kasutaja elektersõiduki kasutamisest tingitud eripärad, näitaks akude liigselt tühjenemisel.

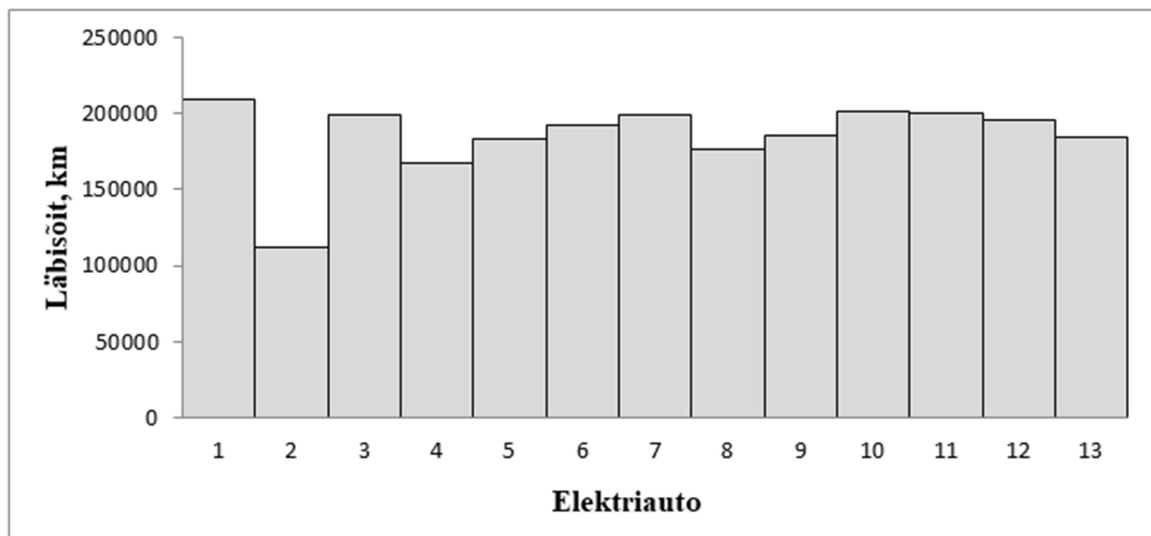
### **3.4. Elektriautode kasutamine taksodena**

Elektritakso OÜ on taksoteenust pakkuv ettevõtte, mille taksoparki kuuluvad ainult elektriautod. Ettevõtte kasutab oma teenuse pakkumiseks Nissan Leafi elektersõidukeid ja tegutseb kolmes Eesti linnas. Antud töö käigus kontakteeruti Elektritakso juhtivtöötajatega, mille käigus nõustuti avaldama andmeid elektritaksode kohta. Küsitlusleht asub lisa 1.

Ettevõtte soetas esimese Nissan Leafi mudeli 2012 aastal juunis ja praeguseks kokku omab 49 elektersõidukit. Nendest 41 Leafi on varustatud 24 kW·h, 4 sõidukit 30 kW·h ja 4 sõidukit 40 kW·h akuga, millele on veel lisandumas 7 autot lähitulevikus. Antud ettevõtte on omab kogemust kokku 58 elektersõidukiga. Elektriautode akud on vastu pidanud hästi,

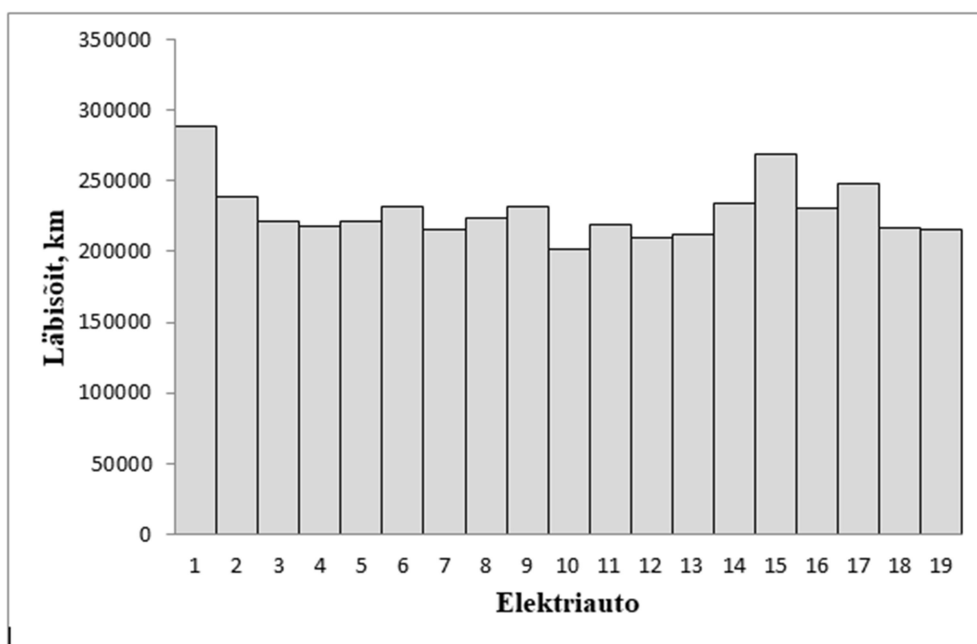
kuigi esimestel 6 autol Oppama tehase akud vahetati välja, mille läbi sõidud jäid umbes 230 000 km juurde. Järgmised autod on pärit Sunderlandi tehasest, mille aku degradeeruvus on väiksem. [15]

Laadimispoliitika kohaselt sõidetakse elektriauto akud tasemini 10-15 % enne laadimist ja laetakse tavaliselt 80 %-ni. Baasis laetakse akud 100 %-ni seinalaadijates kui auto jääb kauemaks seisma. Suve ja talve sõiduulatus erineb umbes 10-15 % ulatuses. Üldiselt peab ettevõtte sõidukeid äärmiselt vastupidavaks kuna läbitud 12 miljoni kilomeetri jooksul ei ole probleemi esinenud. [15]



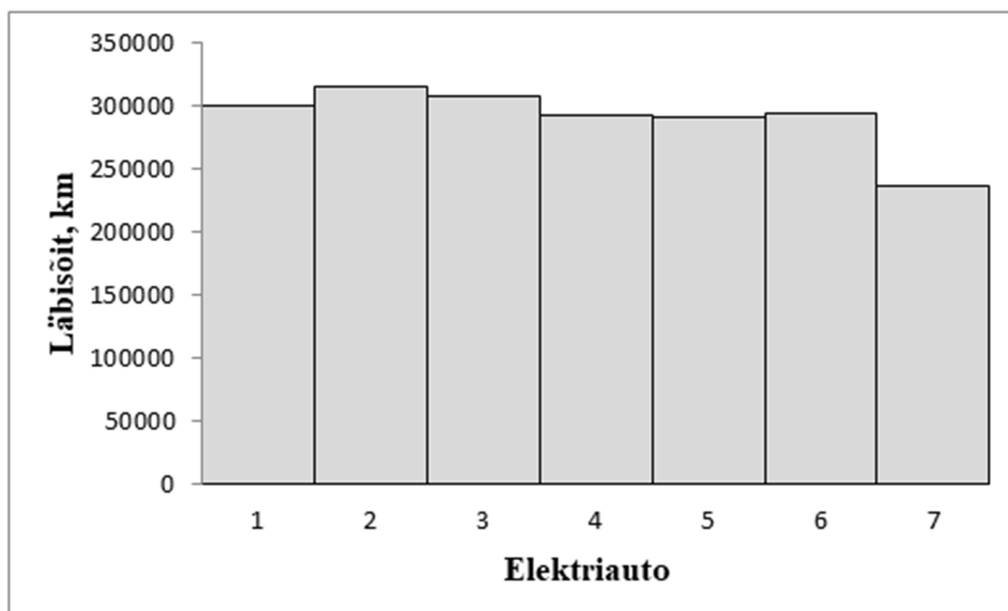
### 3.6. Elektritaksod 12 mahutavuse tulbaga. [15]

Nissan Leafi 12 mahutavuse tulp on võrdeline 15 % mahutavuse vähenemisega. Antud juhul võib öelda, et esimese tulba kaotuseni läbib sõiduk umbes 200000 km. Järelikult 13 autol on aku mahutavus vähenenud vähem kui 15 %.



**Joonis 3.7.** Elektritaksod 11 mahutavusetulbaga. [15]

Üle 200 000 km läbinud autosid on 19, millel on endiselt alles 11 mahutavusetulpa, seega sõidukid on kaotanud rohkem kui 15 %.



**Joonis 3.8.** Elektritaksod 10 mahutavusetulbaga. [15]

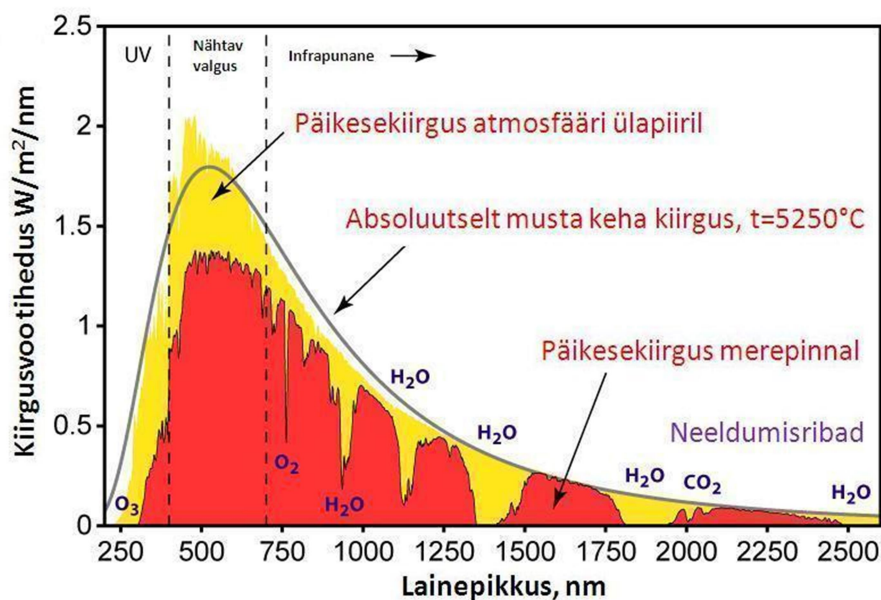
Ettevõttel on 10 mahutavusetulbaga autosid 7, mis tähendab, et auto akud on kaotanud rohkem kui 21,25 % esialgsest mahutavusest. Elektritaksodena kasutavate autode andmed läbisõitude ja mahutavuse tulpade info kohta leiab küsitluslehel, mis asuvad lisas 1 tabelis 2. Võrreldes „*Plug In America*“ andmetega, siis Eestis sõitvate elektersõidukite akud degradeeruvad oluliselt vähem, mille põhjuseks võib tuua keskkonna madalad temperatuurid. Projektis osalenute elukohtade kliima on Eesti kliimast tunduvalt soojem ja suve keskmised temperatuurid ulatusid isegi 40 °C juurde. Keskkonna temperatuurile tõstab aku laadimine aku temperatuuri veelgi.

## 4. PÄIKESEPANEELIDE TOOTLIKKUS JA HOONE ELEKTRIENERGIA TARBIMINE

### 4.1. Maapinnale langev päikesekiirgus

Euroopa riikide poolt on võetud suund kasutada rohkem taastuvenergia allikaid ja seal juures vähendada taastumatute energiaallikate osakaalu. Päikeseenergiat loetakse taastuvaks energiaallikaks, mis on kättesaadav kõigile üle maailma, kuid teatud asukohtadel on päikeseenergia kasutamisel eelis.

Päikesest kiirguvat energiat on äärmiselt palju ja maale kiirgab energiat võimsusega 175 TW·h. Maapinna igale ruutmeetrile oleks kiirgusvõimsus  $1367 \text{ W/m}^2$ , kogu maapinnale jaotuna teeks see  $342 \text{ W/m}^2$ . Kogu nimetatud energia ei jõua maapinnale vaid suur hulk peegeldub tagasi kosmosesse. Selge taevaga, kui päike on seniidis, jõuab maapinnale umbes  $1000 \text{ W/m}^2$ , kuid pilvise ilma korral on see palju väiksem. Kadudest hoolimata jõuab maapinnale nii palju energiat, et see võiks katta maailma tänase energiavajaduse täielikult. [16]



Joonis 4.1. Päikesekiirguse spektraalse koostise muutumine atmosfääris. [17]

Atmosfääri läbimisel toimub oluline päikesekiirguse spektraalse koostise muutumine. See on seotud kiirguse neelamisega atmosfääri koostises olevate gaaside poolt. [17]

Päikesekiirgust võib jagada kaheks – otseseks päikese kiirguseks ja hajusaks kiirguseks. Päikese otsene kiirgus on see osa kiirgusest, mis jõuab päikesekestta suunast maapinnale praktiliselt paralleelsete kiirte kimbuna. Seda mõõdetakse kiirtega risti pinnal. Aluspinna kiirgustingimuste seisukohalt on oluline teada horisontaalsele pinnale langeva otsese kiirguse väärtust. Päikesekiirguse voogu horisontaalpinnale nimetatakse insolatsiooniks. [14, 15]

Otsese kiirgusvoo horisontaalsele pinnale on leitav järgmiselt [18]:

$$S' = S \cdot \sin \cdot h_0 \quad (4.1)$$

kus	$S'$	on	otsekiirguse voog horisontaalsele pinnale,
	$S$	-	otsekiirguse voog kiirtega risti olevale pinnale,
	$\sin$	-	siinusfunktsioon,
	$h_0$	-	päikese kõrgus.

Päikesekiirguse voog kiirtega risti olevale pinnale  $S$  sõltub mitmetest faktoritest [14, 15]:

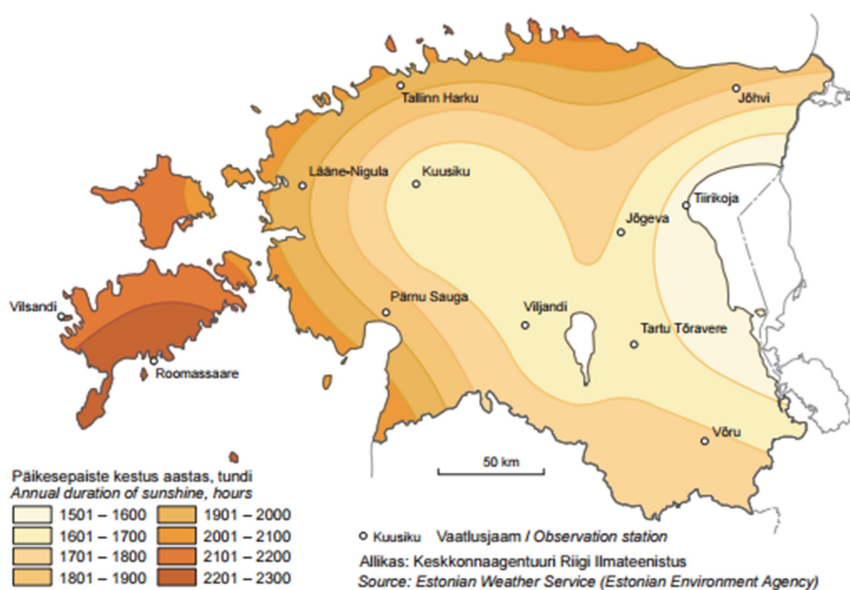
- 1) päikesekonstandist;
- 2) päikese ja maa vahekaugusest; atmosfääri ülemisele pinnale jõudev kiirgusvoog on jaanuari kuus 3,5 % suurem solaarkonstandist ning juuli kuus vastavalt madalam;
- 3) füüsilisest kontsentratsioonist atmosfääris vaatluspunkti kohal ehk aerosoolide tihedus ning pilvisus;
- 4) päikese kõrgusest.

Hajusaks päikesekiirguseks nimetatakse seda osa päikesekiirgusest, mis pärast hajumist õhumolekulidel, aerosoolil, veeaurul ja pilvedes langeb maapinnale. Enamasti hajub päikesekiir enne aluspinnale jõudmist atmosfääris mitmeid kordi. Osa aluspinnalt hajusalt tagasipeegeldunud päikesekiirgust jõuab pärast atmosfääris hajumist tagasi maapinnale, andes sellega lisa hajusale kiirgusele. Hajus kiirgus on seda suurem, mida suurem on päikese kõrgus, mida rohkem on õhus hajutavat ainet, õhuke si kõrged ja keskmisi pilvi ja maapinnalt peegelduvat päikesekiirgust. Otsese päikesekiirgusvoo ja hajusa päikesekiirguse summat nimetatakse summaarseks kiirguseks. [18]

## 4.2. Päikesepaneelid ja nende tootlikkus Eestis

Päikesepaneelide elementide jaoks redutseeritakse räni purustatud kvartsist. Ränimaterjalist eemaldatakse võõrad ained nn tsoonsulatuse meetodil, tõmmates ränivarrast läbi tunnelahju. Aeglaselt läbi ahju liikumisel sulab jupike vardast ahju keskosa kuumuse käes. Sula tsoon liigub pikivarrast ja kuumutuskohast eemaldumisel hakkab räni taas kristalliseeruma. Uuesti kristalliseerunud osas on nüüd puhta räni aatomid sulanud osale jäänud saasteaatomid liiguvad varda lõpu suunas. Lõpuks eraldatakse vardast puhas ränimaterjal ja lisatakse sellele p-tüüpi pooljuhi saamiseks natuke boori. [16]

Päikesepaneelid jagunevad mono- ja polükristallilisteks. Monokristallilised paneelid on paremad, sest nende elemendid on homogeenne ränikristall. Poorsemast polükristallilisest ränist valmistatud paneelide kasutegur on monokristalliliste paneelide omast madalam. [16]

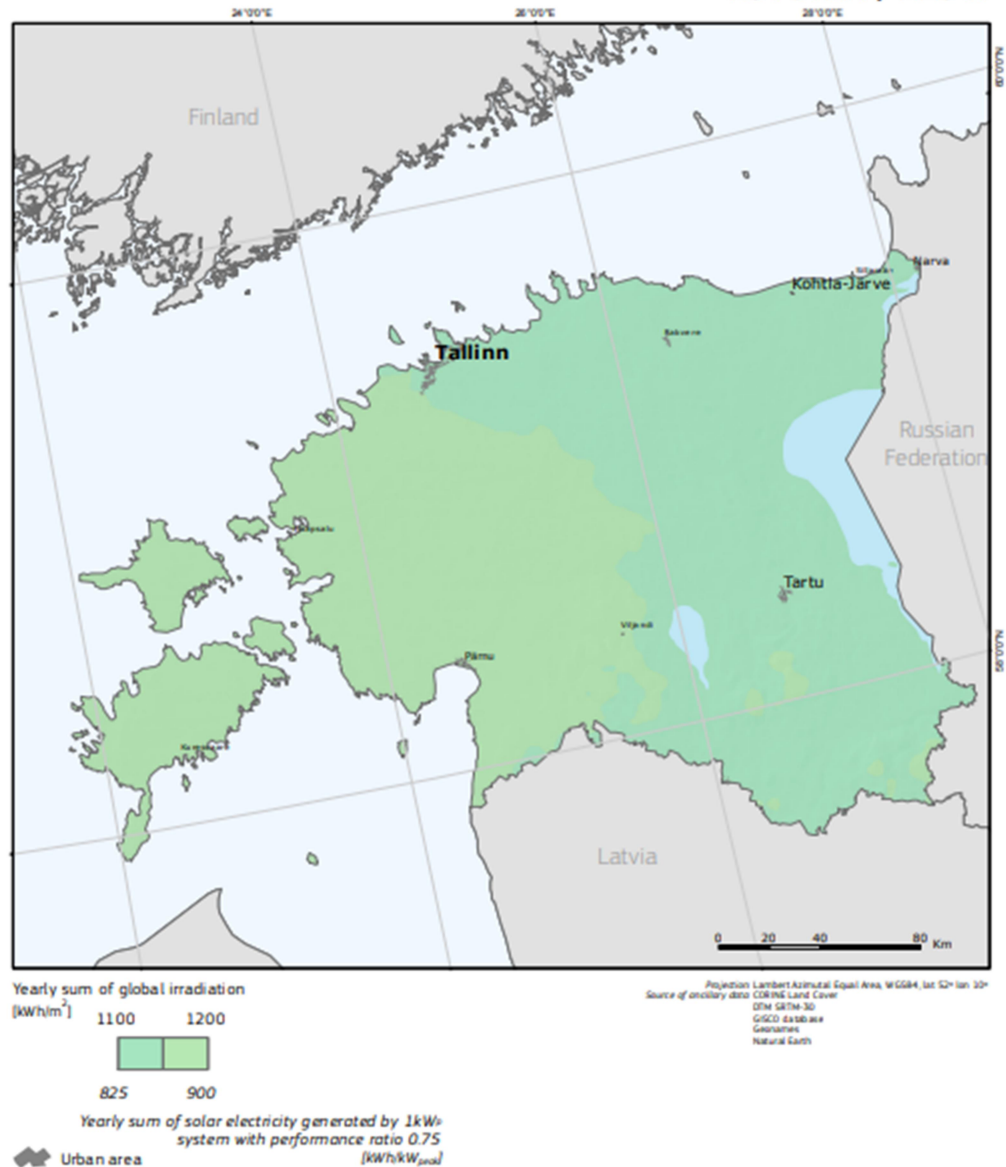


**Joonis 4.2.** Päikese paisteliste tundide arv aastas. [19]

Kõige rohkem tunde paistab päike Saaremaal, kus päikese paistet on aastas 2200 tundi. Põhja-Eestis jääb see 2000 tunni juurde. Kõige vähem on päikest võib leida Peipsi juures ja Kesk-Eestis.

## Global irradiation and solar electricity potential Optimally-inclined photovoltaic modules

### ESTONIA / EESTI



**Joonis 4.3.** Eesti päikesekiirguse kogus aastas. [20]

Vastavalt asukohale on võimsusega 1 kW päikesepaneelide tootlikkus Eestis 825-1200 kW·h aastas, mistõttu on päikeseenergia kasutamisel Eestis potentsiaali.



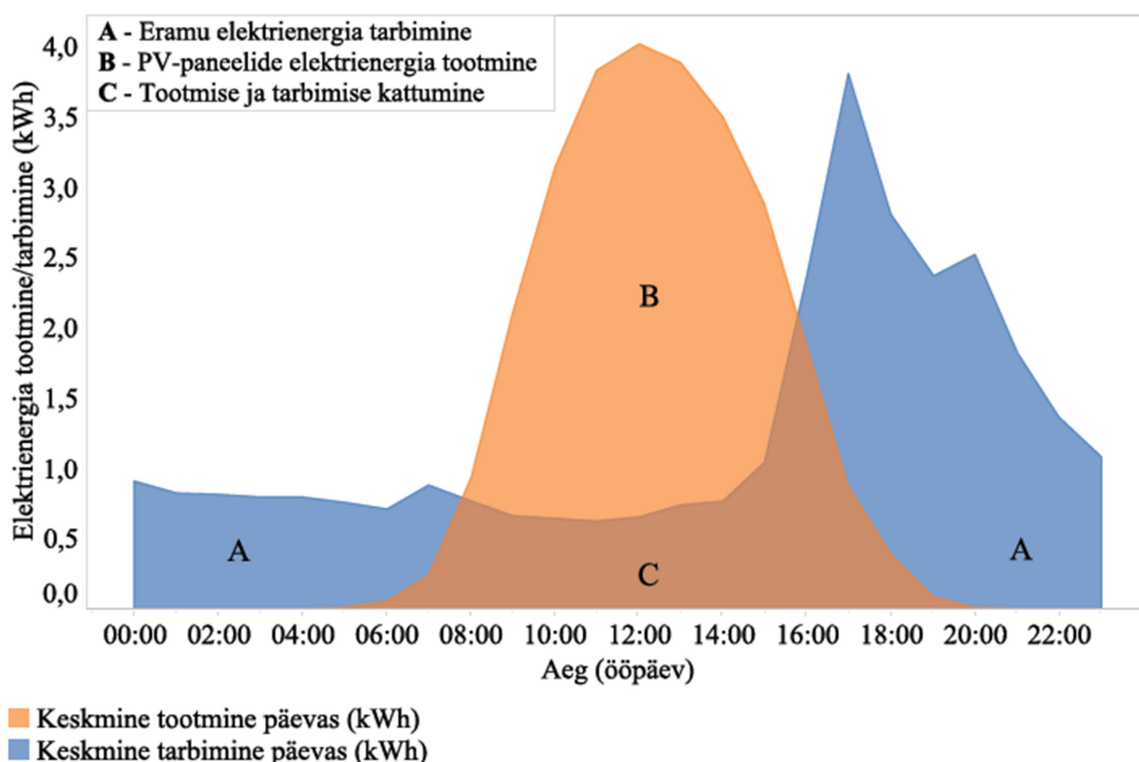
**Tabel 10.** Võimsusega 1 kW päikesepaneelide süsteemi tootlikkus kuude lõikes [20]

Suund lõunasse ja nurk maapinna suhtes 40° kraadi	1 kW PV süsteemi tootlikkus	
	kW·h kuus	kW·h päevas
Jaanuar	20,2	0,65
Veebruar	48,7	1,74
Märts	87,7	2,83
Aprill	125	4,17
Mai	154	4,96
Juuni	148	4,94
Juuli	150	4,83
August	122	3,95
September	85,5	2,85
Oktoober	52,7	1,7
November	20,9	0,7
Detsember	12,2	0,39
<b>Aastas kokku</b>	<b>1030 kW·h</b>	

Keskmiselt toodab 1 kW võimsusega PV süsteem Eestis 1030 kW·h elektrienergiat. Kuudest kõige suurema tootlikkusega on mai kuu, mille jooksul toodab päikeseelektrijaam 154 kW·h elektrienergiat. Kõige madalama tootlikkusega kuu on detsember, mille tootlikkuseks on kõigest 12,2 kW·h elektrienergiat.

### 4.3. Hoonete elektrienergia tarbimine

Hoonete elektrienergia tarbimine sõltub hoones kasutatavatest seadmetest ja nende võimsustest. Vastavalt elamule ja selle kasutamise viisile sõltub hoone elektrienergia vajadus, mille tulemusena tuleb valida vastava suurusega päikeseelektrijaam ja akupank. Võrguga ühendatud päikeseelektrijaama puhul ei ole akupank küll vajalik, kuid akupanga korral on võimalik päikesepaneelide poolt toodetud energiat suuremas ulatuses ära kasutada.



Joonis 4.4. Päikesepaneelide elektrienergia tootmine ja elamu tarbimine. [21]

Joonise 4.4 põhjal on näha, et päikesepaneelide tootlikkus ei kattu elamus tiputarbimistega, mis tõttu oleks hea, kui süsteemi oleks paigaldatud energiasalvesti, mis aitaks kompenseerida elektrienergia tarbimist perioodidel, mis on kujutatud siniselt ja tähistatud tähega A.

Keskmine elektrienergia tarbimine Eesti leibkondades 2010. aastal oli maapiirkondades 4553 kW·h, mis teeb umbes 12,5 kW·h päevas, mis siiski varieerub vastavalt majapidamises kasutatavatest seadmetest. [22]

## 5. ELEKTRIAUTO AKUDE KASUTAMINE HOONETE ENERGIASALVESTINA

### 5.1. Elektriauto akude potentsiaal energiasalvestina

Taastuvenergia kasutamisel on üheks probleemiks energiasalvestamine ja selle kasutamine hiljem, kui tootmissüsteem ei kata tarbija vajadusi. Päikesepaneelide ja tuulikute kasutamisele elektritootmisel on mõistlik kasutada elektrienergia salvestamiseks akusid, mida laetakse, kui tootmises tekib ülejääk. Energiasalvestite kasutamine kompenseerib tiputarbimist ja tagab varustuskindluse hoonele. Hoonetele sobiliku energiasalvesti sõltub installeeritud energiasüsteemi tootmise võimsusest ja hoone enda tarbimisest. Ideaal olukorras võiks energiatootmine ületada hoone tarbimisvõimsust, mille tulemusena tootmisel tekkinud ülejääki saab salvestada akupanka ja kasutada hiljem hoone energiavajaduste katmiseks, kui tootmine on madalam või puudub. Akupanga energia mahutavus võiks katta hoone energiavajaduse 12 tunni jooksul.

Elektersõidukite eluiga sõltub erinevatest teguritest, kuid keskmiselt jääb see 8-10 aasta juurde. See ei tähenda, et aku oleks end täielikult ammendunud vaid energia mahutavuse vähenemise tulemusena väheneb elektersõiduki läbitav vahemaa. Arvestades, et Nissan Leafi 24 kW·h aku mahutavuse vähenemine 50 % ulatuses mõjutab sõituulatuset vähenemist poole võrra ehk 124 kilomeetrilt 62 kilomeetrile, mis tõttu tuleks tarbijal kaaluda aku väljavahetamist.

Tartu linn osaleb rahvusvahelises koostööprojektis SmartEnCity, mida rahastatakse Euroopa Liidu teadusuuringute ja innovatsiooni raamprogrammist Horisont 2020. Projekt algatati 2016 aasta veebruaris ja kestab kauem kui 5 aastat. Projekti peamiseks eesmärgiks on viia ellu targa ja säästva linnakeskkonna terviklahendus, mis inspireeriks elanikke tegema keskkonnateadlikke otsuseid ning oleks hiljem erinevates Euroopa piirkondades rakendatav. Projekti aluseks on *Smart Zero Carbon City* kontseptsioon, kus linna ökoloogiline jalajälg ja energianõudlus on kaasaegseid tehnoloogiaid kasutades viidud miinimumini ja energiavarustus baseerub taastumatel kohalikel energiaressurssidel, mida hallatakse nutikate lahenduste abil. Projektis osalevateks Euroopa linnadeks on Tartu, Sonderborg (Taani), Vitoria-Gasteiz (Hispaania), Lecce (Itaalia) ja Asenovgrad (Bulgaaria). [23]

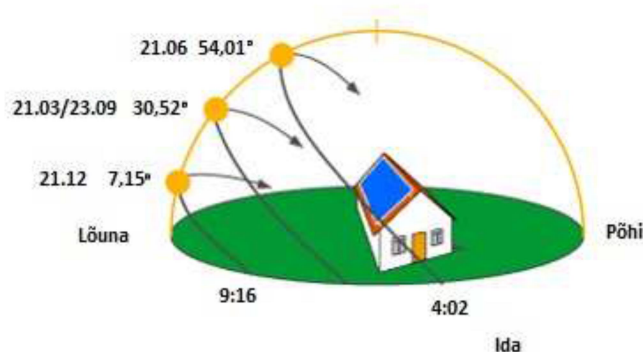
SmartEnCity raames on kavandatud Tartus renoveerida 23 elamut, milles kokku on umbes 900 korterit ja 39 000 m<sup>2</sup> köetavat pinda. Energiatarbe vähendamine keskmiselt tasemelt 270 kW·h/m<sup>2</sup> aastas tasemele kuni 90 kW·h/m<sup>2</sup> aastas. Lisaks paigaldatakse päikesepaneele hoonetele ja „Nutikodu“ platvormi väljatöötamine, mis reguleerib, jälgib ja kogub avaandmeid, mis on avatud kolmandatele osapooltele. Projektiraames uuritakse elektriautode akude taaskasutamise võimalusi taastuvenergia salvestamiseks ja kasutamiseks koostöös Elektritakso OÜ-ga. Lisaks on planeeritud teisi linna pilti positiivselt mõjutavaid tegevusi. [24]

Arvestades, et hooned soovitakse viia energiatarbimise osas 90 kW·h/m<sup>2</sup> aastas, siis on vajalik lisada päikesepaneele, mis tõttu on mõistlik lisada päikeseelektrijaamadele elektrienergia salvestamise võimalused akupanga näol, mille eesmärgiks on tagada taastuvenergia kasutamine perioodidel, kui päikeseelektrienergiajaam elektrienergiat ei tooda. Üheks võimaluseks on kasutada elektersõidukite kasutatud akusid.

Antud lõputöö puhul projekteeritakse elumajale päikeseelektrijaam võimsusega 8 kW ja lisatakse elektrienergia salvestamiseks Nissan Leafi aku, mille järelejäänud mahutavus on 50 % esialgsest. Elektrienergia salvestamiseks valiti Nissan Leafi aku põhjusel, et see on üks levinum elektersõiduk maailmas ja Eestis, mida on Eestis arvel 448 sõidukit.

## 5.2. Päikesepaneelide paigaldus hoonele

Päikesepaneelida tootlikkus sõltub tugevasti süsteemi ülesehitusest. Arvestades päikeseelektrijaama asukohta, tuleb leida päikesepaneelidele õige kaldenurk päikese suhtes. Hoone puhul oleneb, kas on tegemist lameda katuse või päikesepaneelid paigaldatakse otse katusele, mis võrdub katuse kaldanurgaga. Sõltuvalt aasta ajast päikesekiirte langemis nurk muutub ja selle tulemusena ka päikeseelektrijaama tootlikkus.



Joonis 5.1. Päikese kaldenurk sõltuvalt aastaajast. [25]

Optimaalse paigalduse kaldenurka vastavalt asukohale võib leida PVGIS andmebaasi abil. PVGIS andmebaasi abil saab simuleerida päikeseelektrijaama tootlikust aasta jooksul vastavalt sisestatud andmetele. Võimalik valida päikesepaneelide tootmise tehnoloogia, paigaldatud paneelide maksimum võimsuse ja arvestada umbkaudselt ka süsteemi kadusid

Joonis 5.2. PVGIS tarkvara simulatsioon Tartu regiooni kohta. [26]

PVGIS tarkvara abil simuleeriti eeldatav elektrienergia tootlikkus PV süsteemile, mille paneelide maksimaalne võimsus oli 8 kW. Arvestades, et päikeseelektrijaam asuks Tartumaal, siis määrati optimaalne päikesepaneelide kaldenurk ja asimuut. Päikeseelektrijaama kadude suuruseks valiti eeldatavalt 15 %.

**Tabel 11.** PVGIS tarkvara abil leitud tulemused [26]

<b>Kuu</b>	<b><math>E_d</math></b>	<b><math>E_m</math></b>	<b><math>H_d</math></b>	<b><math>H_m</math></b>
Jaauuar	4,95	153	0,71	22,1
Veebruar	9,68	271	1,41	39,6
Märts	20,8	645	3,18	98,6
Aprill	30,8	923	4,94	148
Mai	33,5	1040	5,64	175
Juuni	32,2	967	5,53	166
Juuli	30,9	959	5,42	168
August	27,9	864	4,77	148
September	20,2	607	3,33	100
Oktoober	11	341	1,72	53,4
November	4,33	130	0,65	19,6
Detsember	3,14	97,2	0,46	14,2
<b>Aasta keskmine tootlikkus</b>	<b>19,2</b>	<b>583</b>	<b>3,16</b>	<b>96</b>
<b>Tootlikkus kokku</b>	<b>7000</b>		<b>1150</b>	

Märkused:

1.  $E_d$  - keskmine elektrienergia tootlikkus päevas ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ );
2.  $E_m$  - keskmine elektrienergia tootlikkus kuus ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ );
3.  $H_d$  - antud süsteemi PV-moodulite poolt vastuvõetav summaarne globaalne kiirgus ( $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ );
4.  $H_m$  - keskmine summaarne globaalne kiirgus antud paigas ( $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ ).

Arvestades, et keskmine elektritarbimine päevas Eesti leibkondades oli 2010. aastal 12,5  $\text{kW} \cdot \text{h}$ , siis päikeseelektrijaam võimsusega 8 kW toodab keskmiselt kokku 7000  $\text{kW} \cdot \text{h}$  elektrienergiat, mis teeb päeva kohta 19,2  $\text{kW} \cdot \text{h}$ . Perioodil märts-september katab PV süsteem elamu elektritarbimise täielikult.

### 5.3. Päikesepaneelide valik projekte

Päikeseelektrijaama paneelide valik sõltub suuresti paneelide parameetritest, näiteks võimsus, kasutegur või mõõtmed. Polükristalliliste paneelide tootlikus ja kasutegur on monokristalliliste paneelide omast madalam, mis tõttu valiti projekte monokristallilised paneelid.

Paneelideks valiti WINAICO WSP315M6 PERC monokristallilised päikesepaneelid, mille maksimaalseks võimsuseks on 315 W ja mõõtmeteks 1,56x1,56 meetrit, mille pindalaks umbes 2,45 m<sup>2</sup>. Paneelid on kaetud 3,2 mm paksuse klaasiga ja asetsevad alumiiniumraamis, mille temperatuuri vahemik sobib -40 kuni +95 °C. [27]

**Tabel 12.** WSP315M6 päikesepaneeli STC andmed [27]

Parameeter	Väärtus	Ühik
Paneeli maksimaalne võimus	315	W
Paneeli nimipinge	33,2	V
Vool	9,48	A
Avatud ahela pinge	40,4	V
Lühisvool	10,2	V
Mooduli kasutegur	18,9	%

Päikesejaam koosneb 24 paneelist, mille kogu võimsuseks on 7560 W.

Paneeli maksimaalne pinge STC testis on 33,2 V temperatuuril 25 °C. Temperatuuri vähenedes paneeli pinge suureneb, seega leitakse järgmiselt [28]:

$$\begin{aligned}
 U_{ocmax} &= U_{oc} \cdot [1 - (-t_k)(t_{min} - (-t_{max}))] = \\
 &= 40,4 \cdot [1 - (-0,0029) \cdot (25 - (-30))] = 46,8 \text{ V},
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

kus  $U_{ocmax}$  on paneeli avatud ahela maksimum pinge, V;  
 $U_{oc}$  – avatud ahela pinge temperatuuril 25 °C;  
 $t_k$  – temperatuuri koefitsient  $t_k = -0,29 \text{ \%/}^\circ\text{C}$ ;  
 $t_{min}$  – temperatuuri miinimum, °C;  
 $t_{max}$  – temperatuuri maksimum, °C;

Paneeli pinge madalaimal temperatuuril on 46,8 V, millest järeldame, et jadamisi saab paigutada 3 paneeli, mille ahela maksimum pinge on 140,4 V. Paigutades paneelid 3 kaupa jadamisi saame 8 ahelat, mis jagatakse kaheks ehk rööbiti ühendatakse 4 ahelat. Rööbiti ühendades ahela voolud liidetakse, seega ahela vooluks on 40,8 A. Vastavalt leitud parameetritele valitakse päiksejaamale sobilik laadimiskontroller.

## 5.4. Laadimiskontroller

Akude laadimiseks peavad päikesepaneelide ahelate pinge sobima akupanga pingega, mille tulemusena kasutatakse laadimiskontrollereid, mille ülesandeks on akut paneelist saadava vooluga õigel viisil. Kontroller muudab päikesepaneeli pinge aku laadimiseks sobivaks ja juhib laadimist samal ajal jälgides aku täitumist. [16]

Laadimiskontrollereid on erinevate parameetrite ja töötamisviisidega. Laadimiskontrollerid on kahte tüüpi, PWM (*Pulse Width Modulation*) ja MPPT (*Maximum Power Point*) kontrollerid. MPPT kontrollerid on PWM kontrolleritest efektiivsemad, kuid see eest kallimad. Päikeseelektrijaamad, mille võimsusteks on kuni 500W kasutatakse PWM kontrollereid, võimsamate süsteemide puhul MPPT kontrollereid. MPPT kontroller tõstab päiksejaamade tootlikkust kuni 20 %. [29]

PWM kontroller töötab impulsslaiusmodulatsiooni põhimõttel, kus kontroller ühendab ja lahutab paneeli voolu ning muudab ühendus- ja lahutusaegade suhet selliselt, et paneeli pinge alaneb aku laadimiseks sobivaks. Sobiv laadimispinge oleneb omakorda aku temperatuurist ja laetusest. Laadimiskontroller jälgib paneeli ja aku pinget ning reguleerib impulss-suhte selliseks, et akule mõjub pidevalt sobiv laadimispinge. [16]

MPPT kontroller sisaldab MPP punkti otsiva algoritmiga muutuva karakteristikuga alalispinge (DC-DC) muundurit. MPPT kontroller laseb paneelipingel tõusta MPP punktini ja konverteerib selle aku laadimiseks sobivaks pingeks. MPPT kontrollerite sisendpinge võib jääda vahemikku 6-1000 VDC. Kontrolleri tehnilistes andmetes esitatakse maksimaalne lubatud avatud ahela pinge, kus tuleb jälgida madalatel temperatuuridel tekkivat pingetõusu. [30]



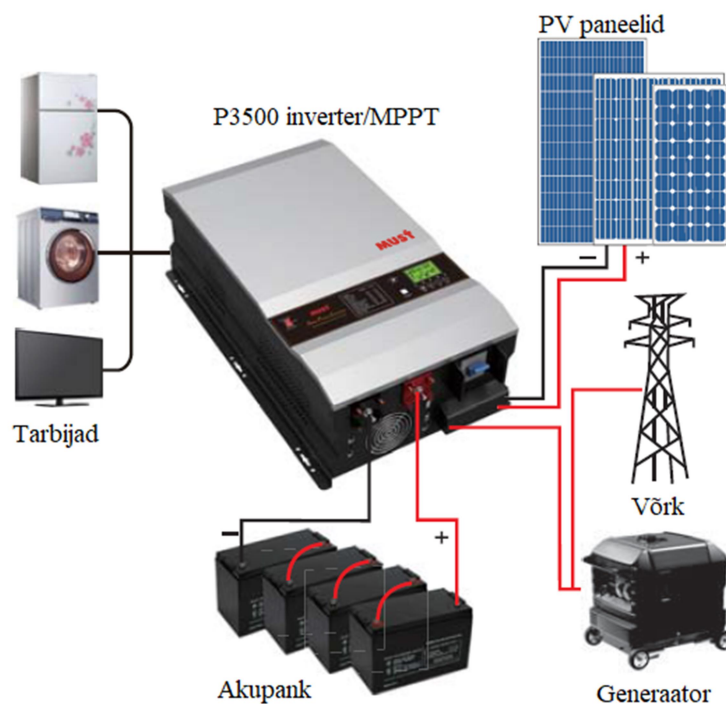
Arvestades PV süsteemi võimsust, milleks on 7560 W, mille eesmärk on saavutada võimalikult kõrget elektrienergia tootlikkust võimalikult väikeste kadudega, siis on mõistlik kasutada MPPT kontrolleriit.

Uurimustöö käigus prooviti leida MPPT kontrolleriit, mis oleks varustatud BMS seadmega ja suhtleks kontrolleriiga. Sobiliku seadme leidmine on probleemiks, sest tootjate toodete hulgas sellised seadmed puuduvad. Aastal 2015 ilmus projekt, mille käigus koguti raha, sellise kontrolleri väljaarendamiseks. Projekti käigus arendati välja ElectroDacus SBMS (*Solar Battery Management System*) laadija, mis on mõeldud LiFePO<sub>4</sub> akupanga jaoks. Antud seadme külge saab ühendada 3-8 akupatareid, mille pinge vahemik jääb 8-32 V. Seadme suurimaks puuduseks on väike PV paneelide avatud ahela maksimaalne pinge, mis on ainult 47 V. PV süsteemi maksimaalseks vooluks võib olla 144 A. [31]

Arvestades, et projektis valitud päikesepaneelide maksimaalne pinge arvestades madalaimat temperatuuri on 46,8V, siis antud seade ei ole sobilik. Teiseks puuduseks võib nimetada akupanga süsteemi pinge võimalusi, milleks on ainult 12 V ja 24 V. Arvestades neid puudusi ja projektis kasutatavate moodulite parameetreid, siis antud seade ei sobi projektis kasutamiseks. Projektile otsitakse seadmestik, mis sobib päikesepaneelide paigutusega ja parameetritega, akupangale lisatakse eraldiseisev BMS ehk „Battery Management System“.

Päikesepaneelide ühendus viisist tulenevalt on avatud ahela maksimum pinge 140,4 V seega peaks MPPT kontrolleri lubatud maksimaalne avatud ahela pinge olema suurem päikesepaneelida ahela pingest. Valitud seadmeks osutus multifunktsionaalne inverter tootjalt Must Power Systems seade PV3500 võimsusega 8 kW, kuhu on integreeritud 2 MPPT kontrolleriit. Seadme MPPT kontrolleriite lubatud maksimaalne pinge on 147 V ja PV ahelate maksimaalne vool on 60 A seega antud seade sobib ühendamiseks PV süsteemi asetusega 3 paneeli jadamisi ja 4 paralleelset ahelat. Seadet on võimalik kasutajal vastavalt akupangas kasutatavatele akudele eraldi seadistada, kuid liitium-ioon akude puhul seadmep BMS ehk „Battery Management System“ seade puudub seega on vajalik kasutada eraldiseisvat seadet. [32]

Multifunktsionaalne inverter/laadimiskontrolleriite mudeliite tehnilised andmed on välja toodud lisas 2.



**Joonis 5.3.** Seadme P3500 põhimõtte skeem. [32]

Must Power System inverter/MPPT seadet on võimalik ühendada lisa toite allikaga näiteks generaatori või elektrivõrguga. Seadmel on kaks MPPT kontrolleri, kus päikeseelektrijaama paneelid on jagatud kahe kontrolleri vahel ära. PV süsteemi koguvõimsuseks on 7560 W, mis teeb ühe grupi maksimaalseks võimsuseks 3780 W. Päikese paneelide poolt toodetud elektrienergia salvestatakse akupanka kui paneelide tootlikkus ületab tarbijate elektrienergia vajadusi ja hiljem puudu olev elektrienergia võetakse akupangast. Inverter muudab akupanga alalisvoolu vahelduvvooluks.

## 5.5. Akupank päikeseelektrijaamale

Elektrienergia salvestamise viise on tänapäeval erinevaid. Parima salvestamise meetodi leidmiseks tuleb arvestada elektrienergia tootmise viisist ja tehnoloogiast. Üheks võimaluseks on elektrienergiat salvestada on mehaaniline energiasalvestus. Mehaaniline elektrienergia salvestamine kujutab ennast potentsiaalse energiana. Näiteks hürdoakumulatsioonijaama tööpõhimõtteks on pumbata vett kõrgemal asuvasse reservuaari, kus energia taaskasutamiseks lastakse vesi läbi hüdroturbiini alumisse veehoidlasse tagasi. Mehaanilisteks salvestamisvõimalusteks on lisaks suruõhk- ja hooratasenergiasalvestid. Teisteks võimalusteks on keemiline energiasalvestus meetodid kuhu kuuluvad vesinik-, sünteetilise gaasi salvestid. Antud lahendused ei ole levinud väike elamute energiasalvestus viisidena. [7]

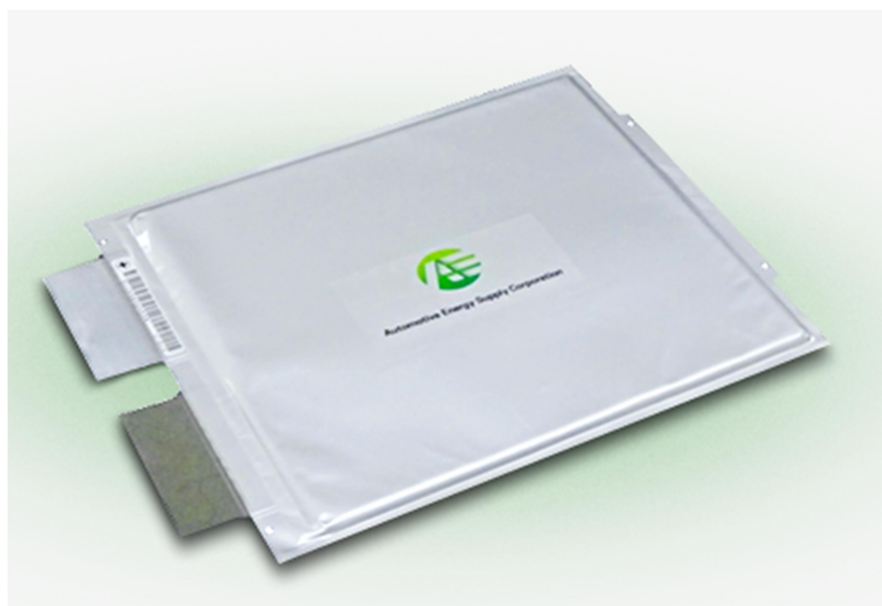
Elamutele paigaldatud päikeseelektrijaamade puhul on peamiseks energiasalvestus viisiks elektrikeemiline energiasalvestus aku-patarei meetodil . Aku-patarei energiasalvestid saab jagada nelja alam rühma [7]:

- a) pliiakud (*Lead-Acid battery, LA*);
- b) nikkel-kaadiumakud (*NaCd*);
- c) väävel-naatriumakud (*NaS*);
- d) liitium-ioonakud (*Li-Ion*).

Elektriautodes kasutatakse liitium-ioonakusid, mille kohta on rohkem informatsiooni peatükk 2.2. ja sõltuvalt ehituses kasutatud materjalidest, leiade liitium-ioon akude parameetrite võrdlused tabelis 6.

Nissan Leafi elektriauto akude tootjaks on *Automotive Energy Supply Corporation* (AESC), kes maailma suurim elektriauto akude tootja maailmas. AESC toodab umbes 90 000 akut aastas ja põhiliselt Nissani ja Renault elektri ja hübriidauto mudelitele. [33]

Nissan Leafi elektriautol on 3 põlvkonda, mille aku mahutavused on 24, 30 ja 40 kW·h. Nissanil on plaan tuua turule 60 kW·h energiamahutavusega elektriauto aastal 2019. Nissan Leaf on maailmas üks enim müüdud elektersõiduk, mille edasi arengu kallal pidevalt töötatakse.



**Joonis 5.4.** Nissan Leafi elektriauto mooduli element. [33]

Nissan Leafi akus elementide katoodiks kasutatakse  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  koos  $\text{LiNiO}_2$  ja anoodiks grafiit. Ehituselt on tegemist laminaat tüüpi elemendiga. Nissan Leafi akus kokku on 192 elementi, mis on jagatud mooduliteks.

**Tabel 13.** Nissan Leafi aku elemendi andmed [33]

Nimetus		Väärtus	Ühik
Elemendi nominaalpinge		3,75	V
Elemendi mahutavus		32,5	A·h
Mahuenergia		317	W·h/l
Massienergia		157	W·h/kg
Elemendi mõõtmed ja kaal	Pikkus	290	mm
	Laius	216	mm
	Kaal	0,787	kg

Nissan Leafi moodulites kasutavate elementide nominaalpingeks on 3,75 V, mille mahutavuseks on 32,5 A·h. Üks element kaalub umbes 0,8 kg. Antud akupanga loomisel oleks keeruline kasutada elemente eraldi ja otstarbekam oleks kasutada mooduleid, mille põhjuseks on lihtne ühendusviis, samuti on moodul paigutatud metall korpusesse, mis kaitseb elemente väliste vigastuste eest.



**Joonis 5.5.** Nissan Leafi aku moodul. [33]

Akus kokku on 48 moodulit, milles on kokku 4 elementi. Elemendid on ühendatud 2 jadamisi ja 4 rööbiti, mille tulemuse on mooduli nominaalpingeks 7,5 V ja mahutavuseks 65 A·h.

**Tabel 14.** Nissan Leafi aku mooduli andmed [33]

Nimetus		Väärtus	Ühik
Elemendi nominaalpinge		7,5	V
Elemendi mahutavus		65	A·h
Kaal		3,8	kg
Elemendi mõõtmed	Pikkus	290	mm
	Laius	216	mm
	Kõrgus	35	mm

Projektis moodulite kasutamisel tuleb leida mooduli parameetritele vastav aku juhtimissüsteem, mis kaitseb moodulis paiknevaid elemente riknemise eest, mille põhjuseks on elementide ülelaadimine, mille tulemusena tõuseb temperatuur liiga kõrgeks või tühjenemine alla lubatud piiri.

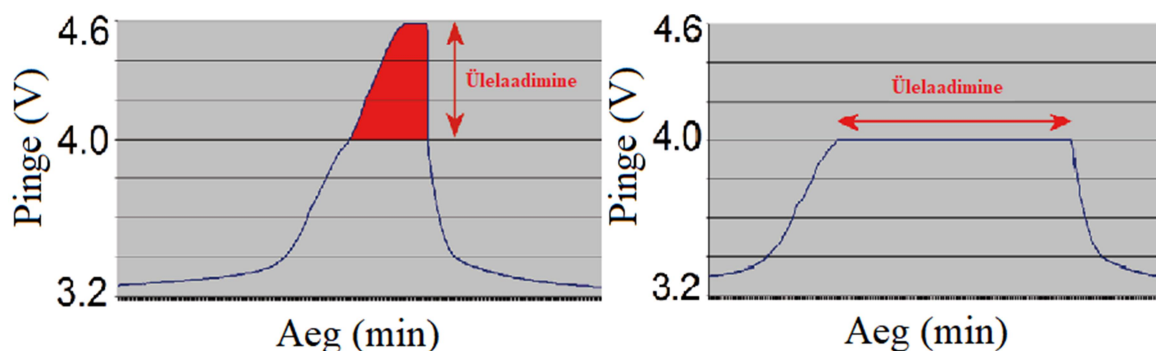
Moodulid on paigutatud akus jadamisi, mille tulemuse on kogu aku nominaalne pinge 360 V. Maksimaalseks pingeks on akul 403 V arvestades elemendi pinget 4,2 V. Nissan Leafi akul on tootja enda poolt installeeritud BMS, mis jälgib elementide ja moodulite pingeid, laadimisvoolu tugevust ning temperatuuri. Täpsemat informatsiooni Nissan aku juhtimissüsteemi kohta ei avalda, kuid on teada, et aku eluea pikendamise eemärgi nimel on 24 kW·h aku korral on kasutatav tarbijale 20 kW·h. [33]

Akupanga mahutavust sõltub elementide seisukorrast, sest kõik elemendid ei pruugi olla degradeerunud samale tasemele vaid võivad olla riknenud, mistõttu ei ole mõistlik rikutud või halvas seisukorras moodulite kasutamine.

## 5.5. Aku juhtimissüsteem

Liitiumioon-akude degradeerumine on seotud elementide kõrge pingega ja temperatuuri tõttu. Aku juhtimissüsteemi ehk BMS (*Battery Management System*) eemärgiks on hoida laadimisprotsess kontrolli all ja aku elementidele sobivates piirides ja kaitsta akut, mille tõttu aku eluiga pikeneb. BMS jälgib elementide pinget, kogu aku pinget, voolutugevust ja elementide või aku temperatuuri. Aku laadimisel jälgib elementide pinget ja balansseerib pinget. [9]

Liitium-ioonakude puhul on tähtis elementide pinged, mis sõltub vastavalt akus kasutatud materjalidest. Liitium-ioonakude kasutamisel on kaks suurimat puudust. Esimeseks puuduseks on akude ülelaadimisel tekkiv elementide jaoks liiga kõrge pinge, mille tõttu võib element rikneda, üle kuumeneda või isegi plahvatada. Teine võimalus on kahjustada elemente aku liigsel tühjenemisel alla 5 % mahutavusest, mille tõttu väheneb akude mahutavus jäädavalt. BMS kaitseahelas on kaks elektroonilist lüliti MOSFET. MOSFET pooljuhid, mis lülitavad ahelad vastavalt pingele sisse ja välja. Näiteks kui elemendi pinge saavutab maksimumi, siis MOSFET lülitab antud elemendi laadimisahelast välja. [34]

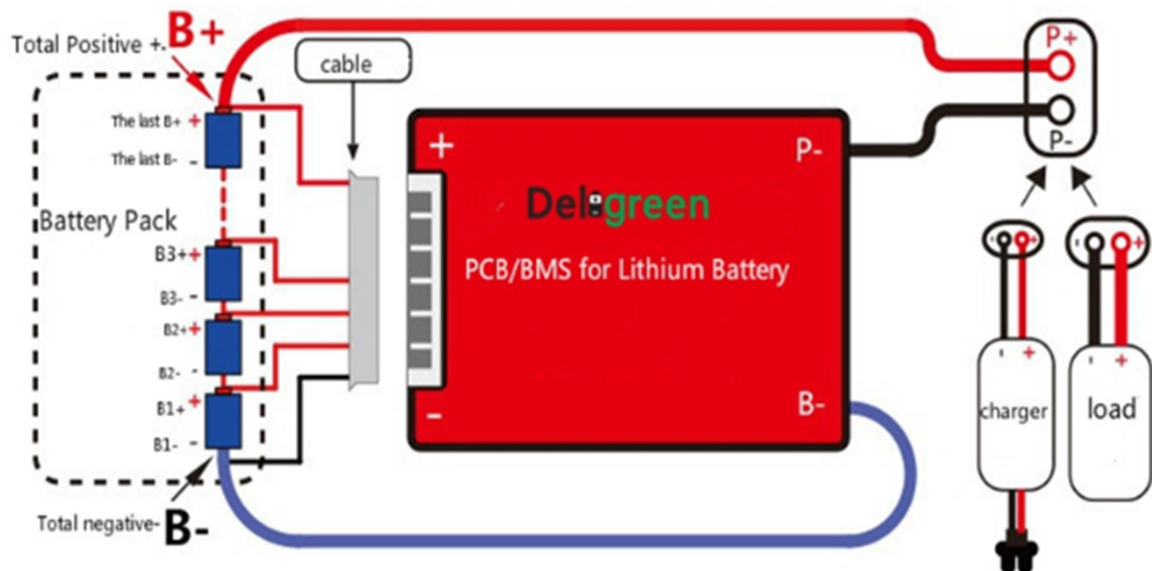


**Joonis 5.6.** Liitium-ioon elementide ülelaadimiste olukorrad. [9]

Vastavalt liitium-ioonaku konstruktsioonile on võimalik leida erinevate parameetritega aku juhtimissüsteeme, mis hoiavad aku elementide pinged sobivates piirides. BMS tootjaid on mitmeid, nende parameetrid varieeruvad ja vastavalt BMS on võimalik jadamisi paigutada elemente vastavalt soovitud pingele.

Nissan Leafi akude koostises kasutatakse  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  ja  $\text{LiNiO}_2$  elemente, mille nominaalseks pingeks on 3,75 V. Vastavalt tabelile 6 esitatud andmetele on sellise koostisega elementide minimaalne lubatud pinge 2,7 V ja maksimaalne pinge 4,2 V. Akupanga BMS valimisel tuleb lähtuda selle töö parameetritest ja soovitud jada ühenduse korral tekkivast pingest.

BMS on võimalik soetada erinevatelt tootjatelt. Deligreen elektroonika tootja, mille tootekataloogist võib leida liitium-ioonakudele erinevaid akujuhtimissüsteeme vastavalt akupangas kasutatavate elementide pingele ja koostisele. Deligreen toodete hulgast võib leida 1-30 elemendi ühendamiseks BMS seadmeid vastavalt soovitud voolutugevusele. Nende poolt pakutavad akujälgimisseadmete funktsioonid pakuvad kaitset akude ülelaadimise, liigse tühjenemise, liigse voolu, lühise ja liiga kõrge temperatuuri eest. [35]



**Joonis 5.7.** Deligreen BMS ühendusskeem. [35]

Deligreen BMS jälgib iga elemendi pinget, mis on ühendatud jadamisi. Jadamisi ühendades akupanga pinge tõuseb vastavalt liites elementide pinged.



**Tabel 15.** Liitium-ioonaku BMS PCB/PCM tehnilised andmed [35]

Parameeter	Toiming	Väärtus	Ühik
Tühjaks laadimine	Tühjaks laadimise vool	100	A
	Maksimaalne tühjenemise vool	200	A
Laadimine	Laadimispinge	71,4	V
	Laadimisvool (maksimum)	100	A
Ülelaadimise kaitse	Ülelaadimise pinge	4.25	V
	Ülelaadimise kaitse rakendumine	4.19	V
Elementide pinge balansseerimine	Elementide balansserimis pinge	4,18	V
	Elementide balansserimis vool	NA	mA
Liigse tühjenemise kaitse	Liigse tühjenemise kaitse rakendumine akupangal	2.8	V
	Liigse tühjenemise kaitse elemendil	3.0	V

Seade on kaitstud liig- ja lühisvoolu korral. Liigvoolu kaitse rakendub 200 A juures, mis katkestab koormuse akupangal. Lühisvoolu kaitse suurust saab tootja muuta vastavalt vajadusele. Lühise korral rakendub lühisekaitse. Tootja poolt on võimalik lisada temperatuuri kaitse, mis jälgib akupanga temperatuuri. [35]

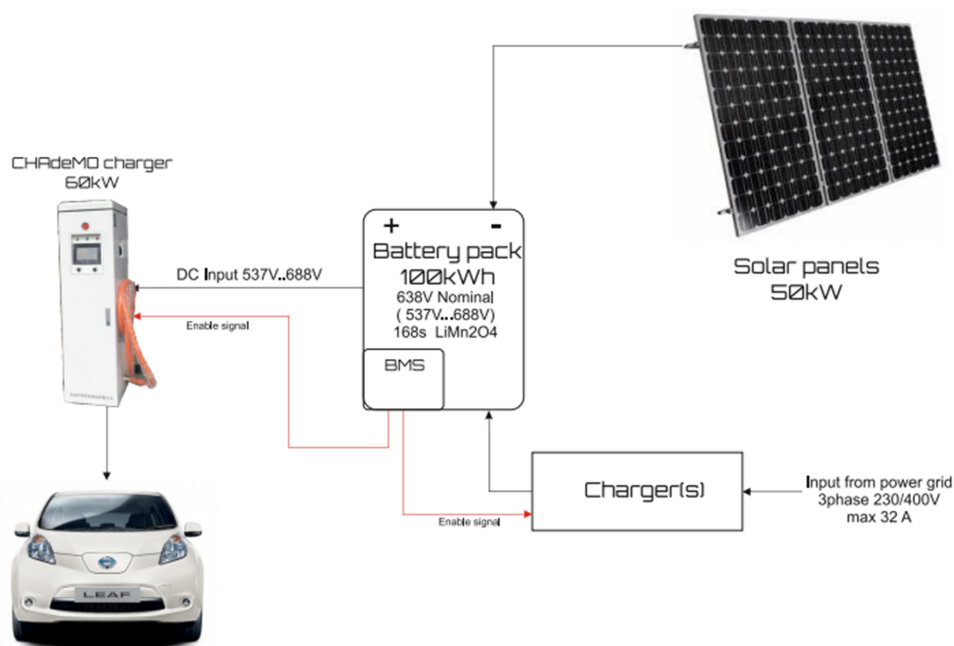
Antud seade sobiks Nissan Leafi aku elementidele parameetrite poolest, kuid kasutades mooduleid, kus on ühendatud 2 elementi jadamisi, mille nominaal pingeks on 7,5 V, tuleb kontakteeruda tootjaga ja leida sobiv lahendus. Antud projekti puhul on akupanga nominaalseks pingeks 48 V, mis tähendab, et seade peaks suutma kontrollida 7 moodulit.

## 5.6. Sarnased projektid Eestis

Eestis uurimistöö tulemusena ei leitud tulemusi eelnevalt sarnaste projektide elluviimisest, kus oleks vanade elektriauto akude elemente või mooduleid kasutatud hoone energiasalvestina seega teema muutub aktuaalsemaks.

SmartEnCity raames on kaasatud Elektritakso OÜ akupanga väljaehitamiseks ettevõttele. Ettevõttel on endal deinstalleeritud 4 kasutatud Nissan Leafi akut, mille eeldatavad energia mahutavused on 50-70 % esialgsest mahutavusest. Arvestades akude mahutavuse vähenemist 50 % ulatuses, siis akupank oleks võimeline mahutama kuni 48 kW·h elektrienergiat. [15]

Päikeseelektrijaama ja akupanga süsteemi välja arendamine toimub koostöös SandFox OÜ-ga. Projekti eesmärgiks on luua päikeseenergiajaam võimsusega 50 kW, mis koosneb monokristall päikese paneelidest võimusega 300 W. Akupangaks on Nissan Leafi aku moodulid, mis on eelnevalt demonteeritud 4 akust ehk 192 moodulist. Moodulid paigutatakse riulitesse, mis on varustatud ettevõtte enda poolt loodud BMS-iga, mis balansseerib elemendid elementide maksimaalsel lubatud pingele. Pinged on modifitseeritud vastavalt Nissani akude spetsiifikale. Mure kohtadeks võib lugeda akude seisukord, sest see on hetkel veel teadmata. [15]



**Joonis 5.8.** Elektritakso OÜ kasvandava päikeseelektrijaama põhimõtte skeem. [15]

## 6. TULEMUSED JA ARUTELU

Elektersõidukite vanade akude kasutamine hoone energiasalvestina on hetkel uudne, sest ei ole Eestis teada valminud päikeseelektrijaamade projekte, kus oleks kasutatud akude mooduleid installeeritud akupangaks, kuid antud valdkonnas on potentsiaali tulevikus, kui kasutatud elektriauto akude arv suureneb.

Arvestades, et elektersõidukite müüginumbrid on kasvamas, siis igal aastal tekib järjest suurem vajadus akude välja vahetamiseks. Akude eluiga sõltub erinevatest teguritest, kuid keskmiselt peavad akud vastu vähemalt 8 aastat. Aastal 2010 müüdi maailmas 16420 elektriautot, mille akude eluiga on lõppenud või lõppemas keskmist eluiga arvestades sel aastal. Aastal 2011 müüdi 55160 elektriautot ja 2012 aastal oli see number juba 112940 elektersõidukit, millest võib oletada, et aastaks 2020 on tekkinud umbes 200000 kasutatud akut, mille mooduleid oleks võimalik kasutada hoonete energiavarustuses. Akude poolt mahutava elektrienergia kogust on raske hinnata, sest akude degradeeruvus varieerub.

Eestis on arvele võetud 1198 elektersõidukit, mis moodustab 0,16 % kõigist arvel olevatest sõidukitest. Töö käigus uuriti Nissan Leafi akut, siis selliseid mudeleid on Eestis arvel kokku 448. Arvestades, et esimestel aastatel oli võimalik soetada ainult 24 kW·h tüüpi akuga, mille akude eluea lõppedes energiamahutavus on hinnanguliselt 5,38 MW·h elektrienergiat, mis on märkimisväärne kogus. Hinnanguliselt võiks kasutatud akudest moodustada akupanga ligi 500 elamule.

Keskmine elamute elektritarbimine Eesti leibkondades oli 2010. aastal 4553 kW·h, mis teeb päevaseks tarbimiseks umbes 12,5 kW·h elektrienergiat. Paigaldades hoonetele päikese paneelide süsteemi võimsusega 8 kW, mis katab päevasel ajal hoone elektritarbimise perioodil mai-september täielikult ja elektrienergiat jääb üle akupanga laadimiseks, siis akupank aitab tarbijatel katta elektrienergia vajaduse tiputarbimisel ja pimedal ajal. Akupank võiks koosneda ühest kasutatud elektriauto moodulitest, mille mahutavus on vähenenud umbes 50 % ulatuses, mis aitaks hoonel talletada kuni 12 kW·h elektrienergiat. Arvestades elamute elektritarbimist valiti projekti raames 24 päikese paneelist koosnev süsteem, kus paneeli võimsuseks oli 315 W. Paneelid on paigutusega 3 jadamisi, mille avatud ahela pingeks on 140,4 V ja 4 ahelat rööbiti, mille ahela vool on 40,8 A.

Elektriautodes on kasutusel liitium-ioonakud, mille koostises kasutatakse erinevaid materjale, näiteks koobalt, mangaan, nikkel. Aku koostise materjalidest sõltuvad akus kasutatavate elementide parameetrid, näiteks nominaal-, miinimum ja maksimum pinge. Akude mahutavuse vähenemine sõltub erinevatest teguritest, näiteks keskkonna ja aku laadimise tekkiv liiga kõrge temperatuur, akude ülelaadimisel ja liigsel tühjenemisel.

Akupangana uuriti Nissan Leafi elektriauto mudeli aku ülesehitust, mis koosneb 48 moodulist, 4 elementi mooduli kohta – kokku 192 elementi, mille elemendi nominaalpingeks on 3,75 V ja mahutavuseks 32,5 A·h. Elementide koostises kasutavateks materjalideks on  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  või  $\text{LiNiO}_2$ . Moodulite kasutamisel hoone energiavarustuses läheb vaja aku juhtimissüsteemi ehk BMS.

Aku juhtimissüsteemi eesmärk on kaitsta elemente ülelaadimise, liigse tühjenemise või liiga kõrgete pingete puhul. Erinevaid BMS süsteeme vastavalt liitiumpatareide koostisele on turul saadaval, kuid mitte moodulite parameetrite jaoks. Arvestades, et akus on kokku 48 moodulit, siis BMSi ülesandeks oleks jälgida igat moodulit eraldi. Antud arvu ja vastavate parameetritega BMS, mis sobiks Nissan Leafi moodulitele ei ole võimalik leida. Üksikutele elementidele on võimalik paigaldada Deligreen tootja BMS, mis on mõeldud  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  koostisega elementidele, kuid antud seadme parameetrid ei ole sobilikud haldamiseks moodulit, mille pinge on 7,5 V.

Parim valik sellise süsteemi loomisel oleks kasutada MPPT kontrolleri, mis suhtleks otse akupangas kasutatavate elementidega, kuid selliseid tooted ei ole veel väga levinud. ElectroDacus lõi kaasrahastamise abil 4 mudelit, mis on mõeldud  $\text{LiFePO}_4$  tüüpi liitium-ioon akudele. Seadme külge on võimalik ühendada 3-8 akuelementi. Seadme pinge vahemik jääb 8-32 V. Seadme suurimaks puuduseks on väike PV paneelide avatud ahela maksimaalne pinge, mis on ainult 47 V. PV süsteemi maksimaalseks vooluks võib olla 144 A. Antud seade ei sobi Nissan Leafi moodulite haldamiseks samuti ei sobi päikeseelektrijaam esialgse ülesehitusega.

Päikeseelektrijaama parameetreid arvestades valiti multifunktsionaalne inverter, mis on varustatud 2 MPPT laadimiskontrolleriga, mille avatud ahela maksimaalseks pingeks on 147 V ja ahelate maksimaalseks vooluks on 60 A.

## KOKKUVÕTE

Elektersõidukite mudelite valik on aastate jooksul kasvanud, millest võib järeldada, et elektriautode tootjad näevad antud valdkonnas kõrget potentsiaali. Elektersõidukid on arendustöö tulemusena muutunud efektiivsemaks, aku mahutavused suurenenud ja sõidukite läbitavad vahemaad. Elektersõidukite sõidu ulatused jäävad vahemikku 60-426 km. Aastatel 2010-2016 on elektriautode arv Maailmas tõusnud umbes 74 korda. Aastal 2016 oli maailmas kokku registreeritud 1,2 miljonit elektersõidukit.

Elektersõidukites kasutatavate akude tüübiks on liitium-ioonakud, mille koostises kasutatud materjalid varieeruvad (koobalt, mangaan, nikkel). Akude vastupidavust mõjutavad erinevad tegurid, mille tõttu aku eluiga sõltub suuresti aku konstruktsioonist, keskkonna tingimustest ja elektrisõiduki kasutusharjumustest. Antud töö tulemusena selgus, et soojemas kliimas sõitvate elektersõidukite akude mahutavus väheneb oluliselt kiiremini võrreldes Eestis kasutatavate elektritakso sõidukitel. Eestis sõitvate elektersõidukite akude mahutavus väheneb keskmiselt <15 % läbitud 200000 kilomeetri kohta võrreldes soojema kliimaga riikides, kus see arv oli umbes 30 % läbitud 90000 kilomeetri kohta.

Suurbritannias läbi viidud uuringu kohaselt alustasid kasutajad sõiduki laadimist, kui aku mahutavuse tase oli 55 %, mis kasvas pärast laadimist keskmiselt 35 %. Tavaliselt lõpetati laadimine, kui aku oli täiesti täis laetud. Keskmine kasutaja laadis elektersõidukit 200 korda aastas, mille keskmine DoD oli 35 %. Leitud tulemustest selgub, et aku mahutavus on väheneb 50 % umbes 10 aastaga, kui DoD on 35 %. Tühjenemisetsükli sügavus mõjutab aku vastupidavust ja sõltuvalt kasutajast võib see olla suurem.

Kasutatud elektersõidukite akude kasutamisel hoone energiavarustuses on mitmeid mure kohti, mis tõttu ei olnud võimalik leida vastavat seadmestikku, mis sobib akude integreerimiseks PV süsteemi arvestades akude või moodulite parameetreid. Liitium-ioonakud on tundlikud ülelaadimiste, kõrgete pingete ja laadimisvoolude suhtes, mille tulemusena tõuseb elementide temperatuur, mis põhjustab elementide eluea vähenemist.

Antud teema on uudne, mistõttu ei ole PV süsteemide tootjad veel keskendunud antud seadmete väljatöötamiseks. Antud töö käigus leiti üks MPPT kontrolleri, mis teoreetiliselt suudaks integreerida vanade akude elemente PV süsteemi, kuid mitte mooduleid. Moodulite demonteerimine elementideks ei ole otstarbekas.

Teiseks variandiks on kasutada liitium-ioonakudele mõeldud BMS kasutamist, kuid nende parameetrid ei sobi mooduli parameetritega. Võimalus oleks kontakteeruda BMSi tootjaga, kes töötab välja spetsiaalselt Nissan Leafi mooduli parameetritele aku juhtimissüsteemi, mille tulemusena saaks kasutada tavapäraseid MPPT kontrollereid, mille tulemusena oleks võimalik moodulid integreerida hoonete energiavarustusse.

Kolmandaks murekohaks võib lugeda akude teadmata seisukorda, mille tulemusena võib projektis kasutatavate moodulite arv oluliselt väheneda, sest moodulite elemendid on riknenud või saanud kannatada ja energia mahutavuse poolest ei ole neid mõtet kasutada.

Elektrisõidukite vanade akude taaskasutamine hoonete energiavarustuses muutub tulevikus aktuaalsemaks, kui sõidukite akud on kaotanud oma mahutavust ja tarbijad hakkavad akusid välja vahetama uute vastu. Vanade akude arvu kasvades tekib olukord, kus on mõistlik neid rakendada muudeks otstarbeks, mille tõttu tekib nõudlus vastavate seadmetele. Antud teema vajab täiendavat uurimistööd ja reaalseid projekte, mille tulemusena oleks võimalik täpsemalt hinnata kasutatud elektrisõidukite akude kasutamist hoonete energiasalvestina.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- 1) Elektriauto. Elektriautode tehnilised andmed. [WWW] <http://www.elektriauto.ee/eng> (28.04.2018)
- 2) International Energy Agency (2017). Global EV Outlook 2017: Two million and counting. [WWW] <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf> (28.04.2018)
- 3) ELMO. Eesti elektromobiilsus programm. [WWW] <http://elmo.ee/programmist> (05.05.2018)
- 4) ELMO. Elektriautode toetus statistika. [WWW] <http://elmo.ee/programmist> (05.05.2018)
- 5) Maanteeamet. Arvel olevad sõidua autod seisuga 31.03.2018. [WWW] <https://www.mnt.ee/et/ametist/statistika/soidukite-statistika> (06.05.2018)
- 6) The Boston Consulting Group. (2010). Focus Batteries for Electric Cars. [WWW] <https://www.bcg.com/documents/file36615.pdf> (27.05.2018).
- 7) Wikipedia. Liitium-ioonaku. [WWW] <https://et.wikipedia.org/wiki/Liitiumioonaku> (20.05.2018)
- 8) **Rosin, A., Link, S., Hõimoja, H., Drovтар, I.** (2015). Energiasalvestid ja –salvestustehnoloogiad. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli elektrotehnika instituut. 183 lk.
- 9) **Mägi, M.** (2013). Development and Control of Energy Exchange Processes between Electric Vehicle and Utility Network. Tallinn: Tallinna Tehnika Ülikool. Energeetikateaduskond. 261 lk. [WWW] <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/2352> (21.05.2018).
- 10) **D. Strickland, L. Chittock, D. A. Stone, M. P. Foster and B. Price.** (2014). Estimation of transportation battery second life for use in electricity grid systems, 3, 795-803. [WWW] <https://ieeexplore.ieee.org/document/6762912/> (25.04.2018)
- 11) **A. Petrov,** (2018). Elektriautode akude mahtuvuse vähenemine eluea jooksul, *XII magistrantide Tead. Kogumik.*, 26-31 lk. [WWW] <http://te.emu.ee/userfiles/instituudid/te/Saaremets/XII%20mag%20konverentsi%20kogumik/XII%20MagTK%20kogumik.pdf> (01.06.2018)

- 12) **T. Saxton.** (2012). Plug In America's LEAF Battery Survey. [WWW] <https://survey.pluginamerica.org/leaf/Leaf-Battery-Survey.pdf> (10.05.2018)
- 13) **E. Yurday.** (2018). A Study on Real-Life Nissan Leaf Battery Deterioration. [WWW] <https://survey.pluginamerica.org/leaf/Leaf-Battery-Survey.pdf> (10.05.2018)
- 14) Nissan. Aku garantii. [WWW] [https://www.nissan.ee/soidukid/uued-soidukid/leaf/ulatuslaadimine.html?wcmmode=disabled#driving\\_tools](https://www.nissan.ee/soidukid/uued-soidukid/leaf/ulatuslaadimine.html?wcmmode=disabled#driving_tools). (18.05.2018).
- 15) **Juurikas, Jaan.** Autori intervjuu. e-kiri. Tartu. 05.05.2018.
- 16) **Perälä, R.** (2018). Päikeseelekter. Tallinn: EHITAME kirjastus. 149 lk.
- 17) **Eensaar, A.** (2012). Päikese kiirgus atmosfääris – *õpinguobjekt, Tallinna Tehnikakõrgkool, Arhitektuuri ja keskkonnatehnika teaduskond.* [WWW] <http://eprints.tktk.ee/128/2/paikesekiirgus/otsekiirgus.html> (15.05.2018)
- 18) **Tooming, H.** (Toim.). (2003). Eesti kiirguskliima teatmik. – *EMHI*. Tallinn. 384 lk.
- 19) Energeetika. (2015). Tallinn: Statistikaamet. Eesti statistika aastaraamat 2015. [WWW] [https://www.stat.ee/publication-download-pdf?publication\\_id=39430](https://www.stat.ee/publication-download-pdf?publication_id=39430) (14.05.2018).
- 20) European Commission. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). [WWW] [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_index.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html) (18.05.2018)
- 21) **Eero, E.** (2015). Elektrienergia tarbimise ajaline kattuvus päiksepaneelide tootlikkusega liginullenergiahoones. Tartu: Tartu Ülikool. Loodus- ja tehnoloogiateaduskond. 65 lk. [WWW] <http://dspace.ut.ee/handle/10062/48374> (25.04.2018).
- 22) **R. Raudjärv, L. Kuskova.** (2013). Energiatarbimine kodumajapidamistes. [WWW] <https://www.stat.ee/dokumendid/68623> (19.05.2018)
- 23) Tark Tartu. Projekt SmartEnCity. [WWW] <http://tarktartu.ee/avaleht/ulevaade/> (19.05.2018)
- 24) Tark Tartu. SmartEnCity kavandatud tegevused Tartus. [WWW] <http://tarktartu.ee/avaleht/ulevaade/> (19.05.2018)
- 25) Eesti kütte- ja ventilatsiooniinseneride ühendus. Päiksepaneelide paigaldamine ja ühendamise võrguga. [WWW] [http://www.ekvy.ee/attachments/article/17/Paiksepaneelide paigaldus ja ühendamise võrguga.pdf](http://www.ekvy.ee/attachments/article/17/Paiksepaneelide_paigaldus_ja_uhendamine_vorguga.pdf) (19.05.2018)



- 26) European Comission. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).  
[WWW] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (18.05.2018)
- 27) WINAICO. Winaico Wsp-M6 Perc. [WWW]  
<http://www.winaico.com/en/products/wsp-m6-perc-series-monocrystalline/>  
(18.05.2018)
- 28) **Roger, J. V. Messenger, A.** (2010) Photovoltaic Systems Engineering, Third Edit.  
CRC Press, 503 lk.
- 29) Taastuenergia OÜ. MPPT kontrolleri tööpõhimõte. [WWW]  
<http://www.taastuenergia.ee/paikesepaneelide-tootlikkuse-arvutamine-pvgis.html>  
(20.05.2018)
- 30) **Pinn, M., Pinn, R., Pinn, M.** (2012). Elekter päikesest ja tuulest. Tallinn: MTÜ  
Kolm Kobrast. 155 lk.
- 31) **Todea, D.** SBMS40 / SBMS120 SBMS40 / SBMS120. [WWW]  
<http://electrodacus.com/SBMS120/manual/SBMSmanual.pdf> (30.05.2018)
- 32) Must Power Systems. Solar System On / Off hybrid Solar Inverter [WWW]  
<http://d.mustpower.com/yinbrochure/PV3500.pdf> (30.05.2018)
- 33) Engineering. Battery Management Systems [WWW]  
<https://www.engineering.com/ProductShowcase/BatteryManagementSystems.aspx>  
(30.05.2018)
- 34) Deligreen. 17S 60V Lithium Battery BMS PCB/PCM Customized. [WWW]  
<http://www.deligreenpower.com/deligreen-products/166-en.html#ad-image-1>  
(30.05.2018)

**LISAD**

## Lisa 1. Küsitlusleht Elektritakso sõidukite uurimiseks

### 1. Mitu elektriautot kuulub Teie taksoparki?

49 (Tartus 36). Järgnevatele küsimustele vastan meie autode kohta kogu Eesti lõikes, kuna nii on lihtsam.

### 2. Mis aastal soetasite esimesed elektritaksod?

2012 juunis

### 3. Kas vahepealsel perioodil on koosseisu lisandunud uusi elektritaksosid?

Alustati ühe autoga 2012 suvel, 5 autoga sügisel, nüüdseks on autosid meilt läbi käinud 58, alles neist 49. Võiks öelda, et ON lisandunud.

### 4. Kui suure energiamahutavusega on Teie elektritaksode akud? 24 kWh, 30 kWh või 40 kWh.

Tabel 1. Elektritakso autode akude tüübid.

Elektriauto aku tüüp, kWh	Elektritaksode arv
24	41
30	4
40	4 (+7 kohe tulemas)

### 5. Palun täita küsimustiku lõpus lisatud tabel, märkida auto läbisõit (km) ja Nissan Leafil armatuuris kuvatavate mahutavustulpade arv (1-12) ja elektriautole installeeritud aku energiamahutavuse suurus (kWh), märkida „X“ vastavasse tulp.

„Y“ märkega on 24kWh auto mis on Oppama tehase oma (jaapan), akud vahetatud ~230k km juures

### 6. Mis tasemini Te keskmiselt akusid tühjaks laete elektritakso kasutamisel? DoD % - „depth of discharge“. Küsimuse juures kirjeldada, kas elektriauto osutab teenust kuni aku tühjeneb täielikult või kasutatakse aku laadimiseks igat vaba momenti. Kirjeldada ettevõttes autodele seatud laadimis korda.

Akusid sõidame tühjaks keskmiselt 10-15%ni. Me ei kasuta vabadel momentidel laadimisi vaid ainult aku tühjenemisel, nii käituda on tunduvalt otstarbekam nii töö organiseerimise,

*ajasäästu kui rahasäästu mõttes. Laadimiskorraks on seatud meil vaikimisi kokkulepe, et laadima minnakse võimalikult tühja akuga ja laetakse vähemalt 10kWh igal laadimiskorral (v.a. erandid). See laadimine toimub siis kiirlaadimistes. Oma baasis laeme autosid „seinalaadijates“ ning kui vahetus autole peale ei tule, laetakse autod 100%ni.*

**7. Kas aku laetatakse valdavalt alati 100% ulatuses täis või tekib olukordi, kus laadimine katkestatakse tunduvalt varem?**

*Akut laetakse 100% vaid sel juhul, kui auto jääb baasi seisma kauemaks. Teistel juhtudel laetakse auto reeglina maksimum 80%ni, kuna kauemaks laadijasse seisma jääda pole otstarbekas (väheneb laadimisvõimsus)*

**8. Kui palju erineb umbkaudselt sõidu ulatus talvel võrreldes suvega?**

*10-20%. Seda siis reaalselt -15 ja külmemaga, alla selle suurt ei mõjuta. Rohkem mõjutab ilmastikuolud nagu lumi, vihm, tuul jne.*

**9. Kas mõne elektritakso aku on kuulunud välja vahetamisele garantiikorras?**

*Ei*

**10. Kas olete pidanud elektritakso aku välja vahetama energiamahutavuse vähenemise tõttu?**

*Jah – esimestel autodel (5-6 autot) sai vahetatud akud umbes 230000km juures, kuna Oppama tehase Leafide akude degradeeruvus on suurem, kui Sunderlandi tehase omadel (alates 10ndast masinast on sealt tulnud). Inglise autodel on aku degradeeruvus väiksem.*

**11. Kui vastasite küsimusele 10 eitavalt, siis millal on Teil hinnanguliselt ettenähtud vana aku asendamine uue vastu?**

*Tõenäoliselt enam akude vahetusi ei tee, kuna otstarbekam on uute autode peale üle minna*

**12. Kuidas hindaksite elektriautode vastupidavust Eesti kliimas?**

*10 punkti 10st. Olen lugenud, mis juhtub samade masinatega soojades kliimades, meie ilmastik on aku kohalt ideaalne.*

**13. Kas olete plaaninud soetada/soetanud Nissan Leafi 2018 mudelid, mille aku mahutavuseks on 40 kWh?**

*Oleme soetanud neid 11 (4 sõidus, 7 tulemas nädala-kahe jooksul) ning plaan kindlasti veel tellida.*

**14. Palun lisada enda poolseid märkusi, mida peate oluliseks, kuid küsimustikus selle kohta küsimusi ei esinenud.**

*Üldiselt on Leafid olnud meie käsutuses meeletult vastupidavad. Tahaks märkida ka selle, et elektrilise sõiduosaga pole meie poolt maha sõidetud 12 MILJONI kilomeetri jooksul olnud ÜHTEGI probleemi. Seetõttu on tegu väga vastupidava masinaga ka Eesti tingimustes.*

*Küsitluse täitnud:*

*Jaan Juurikas*

*[www.elektritakso.ee](http://www.elektritakso.ee)*

**Tabel 2.** Elektritakso sõidukite läbisõidud ja mahutavusetulpade arv.

Nr.	Läbisõit, km	Mahutavusetulpade arv, 1-12	Aku tüüp, 24 kW·h	Aku tüüp, 30 kW·h	Aku tüüp, 40 kW·h
1	369299	12	y		
2	363132	12	y		
3	299796	10	x		
4	315578	10	x		
5	288582	11	x		
6	306749	10	x		
7	238700	11	x		
8	221055	11	x		
9	209407	12	x		
10	111620	12	x		
11	217715	11	x		
12	291620	10	x		
13	221673	11	x		
14	290419	10	x		
15	294042	10	x		
16	232145	11	x		
17	215486	11	x		
18	223405	11	x		
19	232037	11	x		
20	201047	11	x		
21	218342	11	x		
22	210074	11	x		
23	236031	10	x		
24	211978	11	x		
25	234487	11	x		
26	199315	12	x		
27	268589	11	x		
28	231015	11	x		
29	247561	11	x		
30	167833	12	x		
31	216546	11	x		
32	215153	11	x		
33	183611	12	x		
34	192103	12	x		
35	198925	12	x		
36	175833	12	x		
37	185777	12	x		
38	200889	12	x		
39	199535	12	x		
40	196059	12	x		
41	183772	12	x		
42	97930	12		x	
43	66911	12		x	
44	54668	12		x	
45	50031	12		x	
46	1463	12			x
47	1298	12			x
48	1266	12			x
49	1090	12			x

## Lisa 2. Inverter P3500 tehnilised andmed

MODEL		PV35-4K		PV35-5K	PV35-6K	PV35-8K	PV35-10K	PV35-12K
Nominal Battery System Voltage		24V	48V	48V	48V	48VDC	48VDC	48VDC
INVERTER OUTPUT	Rated Power	4KW		5KW	6KW	8.0KW	10.0KW	12.0KW
	Surge Rating (20ms)	12KW		15.0KW	18.0KW	24.0KW	30.0KW	36.0KW
	Capable Of Starting Electric Motor	2HP		2HP	3HP	4HP	5HP	6HP
	Waveform	Pure sine wave/ same as input (bypass mode)						
	Nominal Output Voltage RMS	220V/230V/240VAC(+/-10% RMS)						
	Output Frequency	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz						
	Inverter Efficiency(Peak)	>85%					>88%	
	Line Mode Efficiency	>95%						
	Power Factor	0.8						
	Typical Transfer Time	10ms(max)						
AC INPUT	Voltage	230VAC						
	Selectable Voltage Range	154~272VAC(For Personal Computers)						
	Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)						
BATTERY	Minimum Start Voltage	20.0VDC/21.0VDC for 24VDC mode (40.0VDC/42.0VDC for 48VDC mode)						
	Low Battery Alarm	21.0VDC+/-0.3V for 24VDC mode (42.0VDC+/-0.6V for 48VDC mode)						
	Low Battery Cutoff	20.0VDC+/-0.3V for 24VDC mode (40.0VDC+/-0.6V for 48VDC mode)						
	High Voltage Alarm	32.0VDC+/-0.3V for 24VDC mode (64.0VDC+/-0.6V for 48VDC mode)						
	High Battery Voltage Recover	31.0VDC+/-0.3V for 24VDC mode (62.0VDC+/-0.6V for 48VDC mode)						
	Idle Consumption-Search Mode	<25W when power saver on					<25W when power saver on	
AC CHARGER	Output Voltage	Depends on battery type						
	Charger AC Input Breaker Rating	30A		30A	30A	40A	50A	63A
	Overcharge Protection S.D.	31.4VDC for 24VDC mode (62.8VDC for 48VDC mode )						
	Maximum Charge Current	65A	40A	35A	40A	70A	80A	100A
BTS	Continuous Output Power	Yes Variances in charging voltage & S.D. voltage base on the battery temperature						
BYPASS & PROTECTION	Input Voltage Waveform	Sine wave (grid or generator)						
	Nominal Input Frequency	50Hz or 60Hz						
	Overload Protection (SMPS Load)	Circuit breaker						
	Output Short Circuit Protection	Circuit breaker						
	Bypass Breaker Rating	40A			80A		80A	80A
	Max Bypass Current	40Amp			80Amp			
SOLAR CHARGER	Maximum PV Charge Current	60A			60A(120A Optional)			
	DC Voltage	24V/48V Auto work			48V			
	Maximum PV Array Power	1600W	3200W	3200W	3200W	3200W(6400W for 120A Optional)		
	MPPT Range @ Operating Voltage(VDC)	32-145VDC for 24V mode,64-147V for 48V mode					64~147VDC	
	Maximum PV Array Open Circuit Voltage	147VDC						
	Maximum Efficiency	>98%						
	Standby Power Consumption	<2W						
MECHANICAL SPECIFICATIONS	Mounting	Wall mount						
	Dimensions (W*H*D)	620*385*215mm				670*410*215mm		
	Net Weight (Solar CHG) kg	36	41	44	69+2.5	75.75+2.5	75.75+2.5	
	Shipping Dimensions(W*H*D)	755*515*455mm				884*618*443mm		
	Shipping Weight (Solar CHG) kg	56	61	64	89+2.5	95.5+2.5	95.5+2.5	
OTHER	Operation Temperature Range	0°C to 40°C						
	Storage Temperature	-15°C to 60°C						
	Audible Noise	60dB MAX						
	Display	LED+LCD						
	Loading(20GP/40GP/40HQ)	140pcs / 280pcs / 320pcs						

Joonis 2.1. Must Power System P-seeria inverterite andmed.

### Lisa 3. Lihtlitsents

Mina, \_\_\_\_\_ Anri Petrov \_\_\_\_\_,  
(*autori nimi*)

sünniaeg 17.08.1990 \_\_\_\_\_,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö  
Elektersõidukite akude taaskasutamine hoonete energiavarustuses,  
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on teadur Alo Allik \_\_\_\_\_,  
(*juhendaja(te) nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks  
kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(*allkiri*)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(*kuupäev*)

---

#### Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(*juhendaja nimi ja allkiri*)

\_\_\_\_\_  
(*kuupäev*)